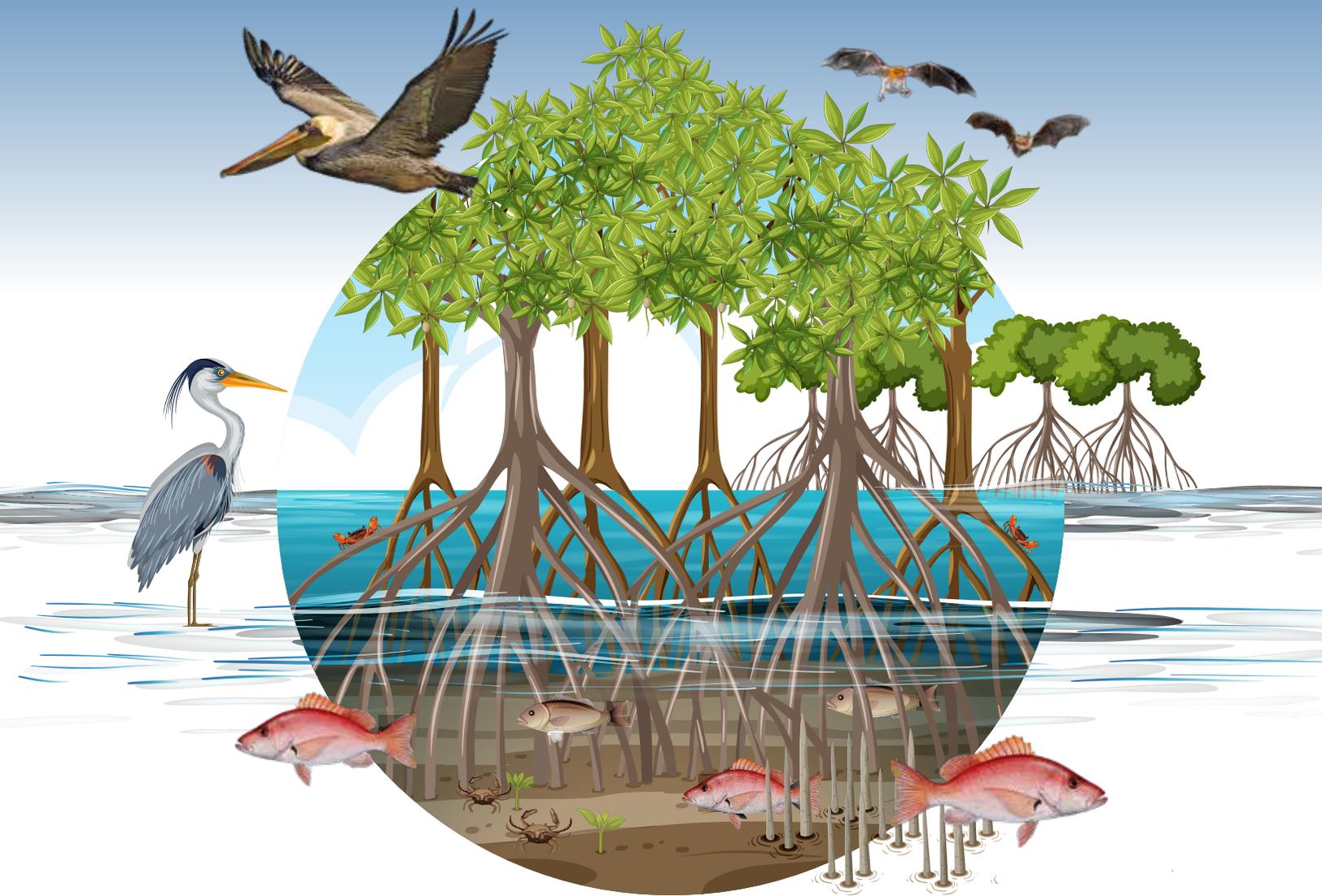


# PROTOCOLO PARA EL MONITOREO ECOLÓGICO DE MANGLARES EN COSTA RICA





**Ejecución**  
Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC)

**Elaboración**  
Luis Villalobos-Chacón,  
Universidad Nacional.

Yixlen Guzmán-Sánchez,  
Universidad Nacional.

Hannia Vega-Bolaños,  
Universidad Nacional.

Rotney Piedra-Chacón,  
Sistema Nacional de Áreas de Conservación-ACT.

(SINAC), Eugenia Arguedas (SINAC), Karol Ulate (UNA), Alonso Villalobos (SINAC), Ana Lucía Arrieta (UNA), Fausto Arias (UNA), Gabriel Rodríguez (UNA), Silenny Calderón (UNA), César Sosa (UNA), Brenda Portugués (UNA), Noé Chávez (UNA), Ana Yury Saravia (UNA), Roberto Cordero (UNA), Nidya Nova (UNA), Tania Bermúdez (UNA), Daniel González (UNA), Ángel Herrera (UNA), Vernon Arias Vega (Comunidad), Glenda Roque (Comunidad), Ginneth Rodríguez (Comunidad), María Fernanda Rodríguez (Molusquera), Yahaira Rodríguez (Molusquera), Rosman Gutiérrez (Molusquero), Emilce Muñoz (Comunidad), Carlos Pérez (INA), Ricardo Rodríguez (Fundación Corcovado), Fabiola Arce (INA), Álvaro Villarrom (Comunidad), Fernando Bermúdez (SINAC), Luis Castro (SINAC), Carlos Vinicio Cordero (SINAC), Gerardo Chavarría (SINAC), Yeimy Gamboa (SINAC), Gabriel Herrera (SINAC), Minor Hidalgo (SINAC), Yareth Ledezma (SINAC), Rolando Abarca (SINAC), Christian Masis (SINAC), Olger Núñez (SINAC), Keilyn García (SINAC), Lilliana Rubí (SINAC), Roy Salazar (SINAC), Christian Diaz (SINAC), Lara Anderson (SINAC), Franklin Murillo (SINAC), Danilo Méndez (SINAC), Luis Mena (SINAC), Mauricio Ramírez (Colaborador), Danilo Torres (CATIE), Vicerrectoría de Investigación y Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, Natalia Corrales (UNA), Jorge Vasquez (Fundecodes), Julián Garcia (Consultor), Adriana Baltodano (Asociación Costa Rica por Siempre), Anthony Ruiz (SINAC).

**Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas y organizaciones que han hecho posible este trabajo y que en algún momento del proceso brindaron su aporte y colaboración: Ángel Herrera (UNA), Miriam Miranda (Proyecto Humedales), Jacklyn Rivera (SINAC), Marco Quesada (CI), José Quirós (CI), Paulina Vargas (Proyecto Humedales), Johnny Guzmán (Colaborador), Ademar Rosales (SINAC), Carlos Pizarro (SINAC), Iván Sandoval (UNA), Margarita Silva (UCR), Jimena Samper (UCR), Antonio Orozco (SINAC), Huberth León (SINAC), Jenny Asch (SINAC), Daniel Villavicencio (SINAC), Mauricio Castillo (SINAC), Guido Saborío (SINAC), Albert Morera (UNA), Carlos Venegas (UNA), Sara Cognuck (CI), Miguel Cifuentes (CATIE), Francisco Pizarro (Consultor), Yamileth Cubero (SINAC), José Joaquín Calvo (SINAC), Lenin Corrales (CATIE), Andrea García (UNA), Roberto Zúñiga (SINAC), Keilyn Otárola (SINAC), Roger Madrigal (SINAC), Sonia Lobo

La diagramación del protocolo y primera edición impresa fue posible gracias al Proyecto Plan de Manejo de Recursos Naturales del Área de Conservación Tempisque, financiado por el Segundo Fondo de Canje por Naturaleza, administrado por la Asociación Costa Rica por Siempre y ejecutado por Fundecodes. Así como por Ramsar a través del Fondo Humedales para el Futuro.

Citar como: SINAC-UNA. 2020. Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el Monitoreo Ecológico de Manglares en Costa Rica. San José. Costa Rica. 119 págs.





---

## Contenido

<b>Presentación .....</b>	<b>13</b>
Importancia del Protocolo para la Integración Ecológica .....	14
Marco Sinóptico.....	15
Resumen General de los Indicadores .....	18
Previsiones Generales .....	20
Indicadores para el Monitoreo Ecológico de Manglares .....	22
<b>ATRIBUTO CLAVE: Cobertura .....</b>	<b>22</b>
INDICADOR 1 Área de Cobertura de Manglar. ....	22
INDICADOR 2 Área de Amortiguamiento .....	25
INDICADOR 3 Área de Regeneración .....	27
INDICADOR 4 Índice Normalizado de Vegetación (NDVI).....	29
<b>ATRIBUTO CLAVE: Estructura.....</b>	<b>31</b>
INDICADOR 5 Estimación de Área Basal .....	31
INDICADOR 6 Densidad de Especies Nucleares .....	36
INDICADOR 7 Estimación del Índice de Complejidad.....	37
INDICADOR 8 Estimación del Valor de Importancia .....	39
INDICADOR 9 Regeneración Natural.....	42
INDICADOR 10 Tipos de Suelo .....	45
<b>ATRIBUTO CLAVE: Composición .....</b>	<b>47</b>
INDICADOR 11 Presencia de Flora Nuclear .....	47
INDICADOR 12 Presencia de Flora Marginal y .....	
Marginal Facultativa .....	48
INDICADOR 13 Riqueza de Gasterópodos .....	50

INDICADOR 14 Riqueza de Madrigueras de Cangrejos .....	53
INDICADOR 15 Presencia de Aves.....	55
INDICADOR 16 Presencia de Mamíferos .....	57
<b>ATRIBUTO CLAVE: Impactos Antropogénicos .....</b>	<b>59</b>
INDICADOR 17 Frecuencia de Desechos Sólidos .....	59
INDICADOR 18 Presencia de Hidrocarburos .....	62
<b>ATRIBUTO CLAVE: Conectividad .....</b>	<b>64</b>
INDICADOR 19 Conectividad Estructural.....	64
INDICADOR 20 Conectividad Hidrológica .....	66
INDICADOR 21 Agua Intersticial.....	68
INDICADOR 22 Presencia de Aves Migratorias .....	71
<b>INDICADOR ADICIONAL (23): Fijación de Carbono .....</b>	<b>73</b>
<b>Observaciones Finales .....</b>	<b>73</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>74</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>81</b>
Protocolo para el monitoreo de gases de efecto invernadero asociado a la acumulación neta de sedimentos en manglares.....	81
Resumen .....	81
Acrónimos.....	85
Unidades de Medida .....	85
1 Antecedentes.....	86
2 Ecosistemas de manglar.....	87
3 Iniciativas internacionales y marco legal de los manglares en Costa Rica .....	88

4	pasos metodologicos para la cuantificacion de contenido de carbono en manglares.....	90
4.1	Unidad de muestreo y tipo de muestreo .....	91
4.2	Contenido de carbono en manglares .....	92
4.2.1	Árboles, regeneración y raíces .....	94
4.2.2	Helechos y herbáceas.....	98
4.2.3	Madera muerta caída. ....	98
4.2.4	Suelo .....	99
5	Carbono a nivel de ecosistema. ....	101
6	Cálculo de los intervalos de confianza Al 95% para cada componente.....	103
7	Incertidumbre asociada a la estimación de las reservas de carbono a nivel de ecosistema. ....	103
8	Referencias .....	104
9	Anexos. ....	106
	<b>Anexo 9.1</b> Principales resoluciones de la Convención Ramsar en relación con el cambio climático y estrategias adaptadas al cambio climático en ecosistemas de manglar. ....	106
	<b>Anexo 9.2</b> Lista de especies presentes en los ecosistemas de manglar en Costa Rica. Decreto N° 35803–MINAET .....	107
	<b>ANEXO 2</b> Formularios protocolo manglares.....	111

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Elementos Focales de Manejo con sus categorías, atributos claves e indicadores. ....19
- Figura 2.** Flujo de trabajo para el procesamiento de imágenes. ....23
- Figura 3.** Ubicación y dirección de las parcelas de tamaño 10 m x 10 m.....33
- Figura 4.** Ubicación de la placa de aluminio para codificar y marcar los árboles en el ecosistema de manglar.....33
- Figura 5.** Diferentes mediciones para DAP (1.3 m), de acuerdo con la particularidad de cada individuo o condición del terreno. ....35
- Figura 6.** Esquema de medición de altura total de árboles de mangle con clinómetro:  $H1 = \text{Distancia del árbol} \times \tan(\alpha)$ ;  $H2 = \text{Altura del ojo sobre el suelo}$ ;  $\text{Altura de árbol} = H1 + H2$  .....38
- Figura 7.** Ubicación de los cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> en cada parcela establecida en el manglar. Las subparcelas 1 y 2 deben quedar en la cara norte de reloj se ubican la 3 y 4.....51
- Figura 8.** Estación de muestreo de agua intersticial, construido con tubos de PVC, de 3 pulgadas.....70

## Figuras anexo 1

- Figura 1.** Distribución de las unidades de muestreo utilizando un arreglo de muestreo en transecto. ....91
- Figura 2.** Parcela anidada a utilizar en la cuantificación de biomasa y carbono en bosques de manglar. ....92
- Figura 3.** Depósitos elegibles para la medición de ecosistemas naturales .....93
- Figura 4.** Árboles de *Avicennia germinans* en condición enana o chaparros creciendo en las cercanías del Refugio Nacional de Vida Silvestre Cipancí, Costa Rica..96
- Figura 5.** Escala visual para determinar el grado de integridad de los árboles de mangle en pie. ....96
- Figura 6.** Proceso para cosechar material vegetal y determinar el peso fresco total y la biomasa utilizando marcos de tubos de PVC. .... 98
- Figura 7.** Instrumento y técnica utilizada para el muestreo de suelo en manglares. .... 100
- Figura 8.** Ejemplo de los resultados de un inventario de carbono a nivel de ecosistema para diferentes sitios en los manglares del Humedal Nacional Térraba – Sierpe, ..... 101

## Lista de cuadros

<b>Cuadro 1.</b>	Interpretación de la variación en el porcentaje de cobertura del manglar.....	24
<b>Cuadro 2.</b>	Interpretación de la variación del área de amortiguamiento. ....	26
<b>Cuadro 3.</b>	Interpretación de la variación de las áreas de regeneración. ....	28
<b>Cuadro 4.</b>	Interpretación de la variación del NDVI. ....	30
<b>Cuadro 5.</b>	Interpretación integrada de indicadores estructurales en los sitios de monitoreo (Área Basal, Valor de Importancia, Índice de Complejidad, Densidad). ....	41
<b>Cuadro 6.</b>	Interpretación de la variación en la tasa de crecimiento de las especies de mangle.....	44
<b>Cuadro 7.</b>	Interpretación de la presencia de flora nuclear, marginal y marginal facultativa en los sitios de monitoreo. ....	49
<b>Cuadro 8.</b>	Interpretación de la pérdida de la densidad de gasterópodos en los sitios de monitoreo.....	52
<b>Cuadro 9.</b>	Interpretación de la pérdida de la densidad de madrigueras de cangrejos en los sitios de monitoreo....	54
<b>Cuadro 10.</b>	Interpretación de la presencia de aves en los sitios de monitoreo. ....	56
<b>Cuadro 11.</b>	Interpretación de la presencia de mamíferos en los sitios de muestreo. ....	58
<b>Cuadro 12.</b>	Interpretación de la frecuencia de residuos sólidos presentes en el manglar. ....	61

<b>Cuadro 13.</b> Interpretación de la presencia de hidrocarburos en el manglar. ....	63
<b>Cuadro 14.</b> Interpretación de la cantidad de fragmentos presentes en el manglar. ....	65
<b>Cuadro 15.</b> Interpretación de la cantidad de cauces nuevos o desaparecidos en el manglar. ....	67
<b>Cuadro 16.</b> Detalle de variaciones en la composición de nutrientes del agua intersticial. ....	69
<b>Cuadro 17.</b> Interpretación de la presencia de aves migratorias en los sitios de monitoreo. ....	72

## Lista de cuadros Anexo 1

<b>Cuadro 1.</b> Pasos generales para la cuantificación de carbono azul. Protocolo de Carbono Azul. Costa Rica. 2022. ....	90
<b>Cuadro 2.</b> Ecuaciones alométricas utilizadas para calcular las existencias de biomasa en árboles, regeneración y raíces de mangle. ....	95
<b>Cuadro 4.</b> Gravedad específica de la madera para especies de manglar. ....	97
<b>Cuadro 6.</b> Contenido de carbono almacenado (Mg C/ha) por componente en los diferentes manglares de Costa Rica. ....	102



---

## Presentación

El 7 de abril de 1991, mediante Ley N° 7224, Costa Rica ratifica la convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (conocida como la Convención de Ramsar). En ese momento, el país asumió el compromiso nacional e internacional de la conservación y el uso sostenible de los humedales y de todos los servicios que proporcionan, en beneficio de las personas y la naturaleza, manteniendo sus características ecológicas.

De acuerdo con el marco normativo vigente en el país, todos los humedales, ya sea que estos formen parte de áreas silvestres protegidas o que están en propiedad privada, por ser declarados de interés público deben ser protegidos. El 6 de marzo de 2017, mediante Decreto Ejecutivo No. 40244, se oficializa la Política Nacional de Humedales, definiendo así la ruta a seguir hasta el año 2030, a través de la implementación de acciones para gestionar la conservación y el uso racional de los ecosistemas de humedal conforme con los compromisos nacionales e internacionales.

Los manglares son un ecosistema de humedal muy importante al proporcionar una gran variedad de servicios ecosistémicos que contribuyen en el bienestar humano, ecológico, paisajístico, recreacional, social y económico. También son vitales como refugio, reproducción y desarrollo de gran diversidad de especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e invertebrados. Su alto grado de intercambio de energía y materia orgánica, favorecen el desarrollo de redes tróficas complejas y protegen al litoral de la erosión costera. No se puede dejar de mencionar su importante papel en la captura y almacenamiento de CO<sup>2</sup>.

A pesar de toda esta importancia ecosistémica, social y económica, los manglares han experimentado una disminución acelerada de su superficie y un deterioro de sus funciones debido a los efectos producidos por el impacto de diferentes actividades humanas y el cambio climático. En respuesta a este deterioro de los manglares, la Política Nacional de Humedales se enfoca en reconocer, valorar y resguardar los servicios ecosistémicos que brindan estos ecosistemas al país y se concentra en mejorar su gobernanza y su gestión.

Uno de sus principios es la conservación y el uso sostenible y racional. El conocer y tener disponible información sobre el mantenimiento de la estructura, funcionalidad ecológica y dinámica de los manglares, es fundamental para asegurar su permanencia a largo plazo. Y si a la vez entendemos que su uso sostenible o racional es la utilización de los componentes de la biodiversidad de un modo y a un ritmo que no ocasione su disminución o deterioro a largo plazo, entonces, el camino tomado sería el correcto, rumbo hacia el bienestar humano, la reducción de la pobreza, la conservación y rehabilitación ecológica de los humedales.

El identificar un número prioritario de indicadores ecológicos y que estos estén ordenados en un protocolo que facilite su monitoreo permanente y constante en el tiempo, es uno de los elementos fundamentales para adquirir y mantener ese conocimiento sobre la estructura, función y dinámica del ecosistema de manglar en Costa Rica, lo que le permite a los administradores de estos humedales, considerar e implementar todas aquellas medidas de manejo más adecuadas y fundamentadas bajo criterio técnico y científico.

La elaboración de este protocolo de monitoreo ecológico en manglares es una iniciativa desarrollada entre el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional (UNA), un proceso que dio inicio en el año 2016. Esta relación ha generado una experiencia conjunta, no solo en términos prácticos para el monitoreo de manglares en el litoral Pacífico, sino en la sistematización de acciones para la construcción de esta herramienta técnica – científica, encaminada a mejorar la efectividad de manejo de los manglares que se encuentren dentro de Áreas Silvestres Protegidas y fuera de ellas.

## Importancia del Protocolo para la Integración Ecológica

---

Las Áreas Silvestres Protegidas están destinadas, entre otras razones, a proteger la integridad ecológica de uno o más ecosistemas, de manera que se puedan ofrecer diversas oportunidades de utilización con fines espirituales, científicos, docentes, de recreo, de visita o de preservación. La integridad ecológica se define como la capacidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos, cuya composición de especies, diversidad y organización funcional son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular (Parrish *et al.* 2003).

Los manglares son uno de los elementos focales de manejo identificados en un importante número de ASP del SINAC, por lo que su monitoreo ecológico es muy relevante y forma parte de los procesos de planificación y manejo de los recursos naturales, además de la implementación de acciones dentro del plan estratégico de la Convención de Ramsar. El conocimiento que se adquiera sobre su integridad ecológica es la base en la toma de decisiones para la gestión adecuada del ecosistema y el cumplimiento de los objetivos, adquisición de recursos, identificación de proyectos y definición de metas. La toma de decisiones, al igual que el desarrollo de las acciones definidas en los planes de manejo o planes de gestión, tienen sus implicaciones sociales, económicas, ambientales, institucionales y hasta políticas, de manera que la información recabada debe ser técnicamente bien registrada.

El PRONAMEC (Programa Nacional de Monitoreo Ecológico) es una propuesta metodológica para el seguimiento y evaluación del estado o tendencias de la biodiversidad a nivel nacional, en forma interinstitucional, rigurosa y práctica. Por tal razón, para los manglares se han propuesto veintitres indicadores que servirán para evaluar el estado de este elemento focal de manejo. Para poner en práctica los indicadores para el monitoreo ecológico marino, es necesario que el lector de este protocolo conozca de primera mano una serie de términos que son claves para el entendimiento y aplicación de la metodología que se describe más adelante. Por tanto, a continuación, se definen de forma clara y concisa cada uno de estos términos:

INDICADOR	MONITOREO	ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE
Es aquella característica o condición que sea relevante, precisa y sensible a cambios durante el tiempo y que pueda ser determinada y caracterizada de forma precisa y práctica con costo razonable.	Es la medición de un indicador a través del tiempo para evaluar los cambios en el medio ambiente.	Condiciones mínimas en las cuales los manglares pueden desarrollarse y persistir tanto en el tiempo como en el espacio.

La medición de la integridad ecológica en cada Área Silvestre Protegida promueve la recuperación o mantenimiento de los elementos focales, permite la evaluación de las amenazas, redefinición de metas de conservación, diseño de estrategias de manejo o restauración, todo dentro de los principios del manejo adaptativo.

---

## Marco Sinóptico

Los manglares proveen una gran cantidad de beneficios para el ser humano, por ejemplo, el acceso a recursos pesqueros, el control de inundaciones, la reducción del impacto por marejadas, la estabilización del litoral, la retención de sedimentos, la retención de nutrientes, la exportación de biomasa, la protección contra tormentas. También son ecosistemas biodiversos, muy importantes como fijadores de carbono y para el desarrollo de actividades ecoturísticas, sin embargo, por lo general se adquiere conciencia de estos servicios ecosistémicos hasta cuando el humedal está siendo alterado o degradado. Son las poblaciones más cercanas a los sitios alterados, las que comúnmente se ven forzadas a tomar acciones inmediatas, porque son las mayormente impactadas cuando esos beneficios dejan de estar disponibles.

El uso de indicadores para obtener información sobre el tamaño, la condición y el contexto paisajístico de los ecosistemas de manglar, permite entender por medio del desarrollo e implementación de medidas prácticas y cuantitativas, los conceptos de salud, integridad ecológica y estado de conservación de los mismos. Los análisis de estos indicadores facilitan la elaboración de informes sobre la condición ecosistémica de los manglares en un momento determinado, y de mantenerse su registro permanente en el tiempo, la observación de cambios a lo largo de los años de monitoreo. Lo anterior le permite al administrador del recurso, no solo conocer diagnósticos tempranos del ecosistema o el llevar un control eficiente de los datos, sino que también le permite evaluar e implementar oportunas, nuevas y efectivas medidas de manejo y conservación.

En años recientes, Costa Rica ha avanzado en la elaboración de protocolos de monitoreo ecológico para la evaluación de playas rocosas (SINAC, 2016), formaciones coralinas (SINAC, 2016), playas de anidación de tortugas marinas (SINAC, 2016), playas arenosas ante el cambio climático (2016), agregaciones de mamíferos acuáticos (SINAC, 2016); sin embargo, ha quedado pendiente el protocolo para el monitoreo de manglares. Una herramienta que es cada vez más relevante al considerar que un importante número

de planes de manejo de las Áreas Silvestres Protegidas del SINAC, ha priorizado a los ecosistemas de manglar como uno de sus elementos focales de manejo.

Desde el año 2016 se ha venido fortaleciendo una relación entre la academia, a través de la Universidad Nacional y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, para facilitar la investigación, el monitoreo de indicadores en ecosistemas de manglar y el fortalecimiento de capacidades institucionales. Los primeros eventos de esta relación se concretaron con el Área de Conservación Tempisque, específicamente en los manglares de Flamingo y el sitio Ramsar - Parque Nacional Marino Las Baulas, esto en el contexto del proyecto de la Universidad Nacional "Evaluación y Seguimiento de Manglares en el Litoral Pacífico de Costa Rica en sus fases I y II (Código SIA 0586-17)".

Esta relación interinstitucional ha facilitado el desarrollo de talleres de capacitación y la ejecución de acciones conjuntas con funcionarios del Área de Conservación Tempisque (ACT), el Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC) y el Área de Conservación Osa (ACOSA), en sitios específicos de sus AC, lo cual permitió ir definiendo criterios preliminares respecto a la visualización de métodos y técnicas, susceptibles de ser implementadas en un proceso de monitoreo que sugiere la consideración de una multiplicidad de criterios que permitan generar información suficiente y confiable para conocer y dar seguimiento al estado de los ecosistemas, lo suficientemente versátil y logísticamente aplicable, de manera que puedan establecerse rutinas factibles para ser implementadas a nivel institucional y por lo tanto sostenibles en el tiempo.

En el año 2017, el SINAC, a través del Programa Nacional de Humedales y la coordinación del proyecto "Conservación, uso sostenible de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios de los ecosistemas de humedales protegidos de importancia internacional" (Proyecto Humedales del SINAC-PNUD-GEF), acuerdan con la coordinación del proyecto Evaluación y seguimiento de Manglares en el Litoral Pacífico de Costa Rica, de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, el desarrollar acciones conjuntas para generar una metodología de estudio estandarizada de manglares, asumiendo de esta manera su compromiso en la elaboración del protocolo.

La Universidad Nacional en conjunto con el Programa Nacional de Humedales y el apoyo logístico del Proyecto Humedales, celebran, en mayo del 2017, el I Taller de consulta a expertos para la elaboración del protocolo de monitoreo de manglares. Uno de los resultados de este primer encuentro fue la identificación de una lista preliminar de indicadores ecológicos.

En diciembre del 2017, los funcionarios de la UNA, Proyecto Humedales y el SINAC, se reúnen para analizar los avances en la identificación de los indicadores y elaboración de las hojas metodológicas, así como definir los siguientes pasos.

En mayo 2018, funcionarios del Parque Nacional Manuel Antonio, participan en el taller de capacitación impartido por la Universidad Nacional llamado: "Proceso de inducción, para la implementación de un plan de monitoreo en manglares". En ese mismo mes, el taller es impartido en el Área Marina de Pesca Responsable Paquera-Tambor, en el cual participan funcionarios del SINAC-ACT y del INCOPECA.

La elaboración del protocolo se ha venido desarrollando en concordancia con los lineamientos y políticas establecidas por el Programa Nacional de Monitoreo Ecológico (PRO-NAMEC), creado mediante Decreto Nº 39.747/MINAE, como un programa interinstitucional adscrito al Departamento de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad

y Servicios Ecosistémicos de la Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

En el marco del proyecto regional “Mejoramiento de la conservación de manglares en el Pacífico Oriental Tropical (ETPS)” mediante el desarrollo y la implementación coordinada de estrategias regionales y nacionales (Proyecto GEF-Manglares), el SINAC y Conservación Internacional, que en ese entonces era la agencia implementadora de este proyecto, acuerdan apoyar de manera financiera y logística el desarrollo del II Taller del proceso de construcción del Protocolo de Monitoreo Ecológico de Manglares.

En agosto del 2018, en coordinación con el Programa Nacional de Humedales, la UNA presenta a los responsables de PRONAMEC, los avances en el proceso de construcción del Protocolo Manglares y se define la fecha para realizar el II taller de expertos para la validación de indicadores.

En octubre del 2018, el Viceministerio de Aguas y Mares y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, en coordinación con la Universidad Nacional y Conservación Internacional, en el marco del Programa Nacional de Monitoreo Ecológico (PRONAMEC) y el proyecto GEF-Manglares, desarrollan el II Taller “Validación de los indicadores propuestos para el Protocolo de Monitoreo Ecológico de Manglares”, cuyo objetivo fue evaluar los indicadores priorizados en todo el proceso, su utilidad y los ajustes pertinentes.

En noviembre del 2018, la Universidad Nacional y el SINAC exponen en el Foro Regional sobre Intercambio de Experiencias en Conservación de Manglares, celebrado en Panamá, los resultados en el avance del proceso de construcción del protocolo y la experiencia conjunta interinstitucional entre la academia y el SINAC. Esta actividad fue organizada por Conservación Internacional y la Comisión Permanente del Pacífico Sur y reunió a expertos del Ecuador, Colombia, Panamá, Chile, Perú y Costa Rica.

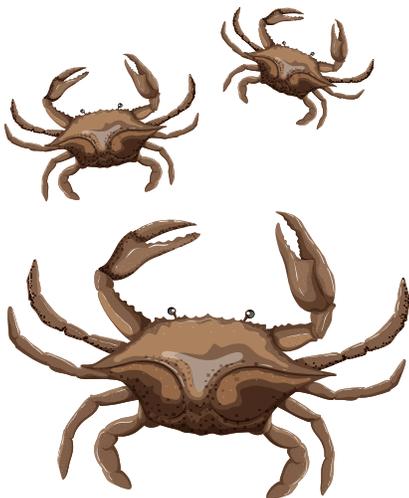
El año 2019 fue un periodo dedicado a la implementación de los indicadores en diferentes sitios de muestreo, reuniones de coordinación del equipo de trabajo y afinamiento de los detalles del texto. En concordancia con los lineamientos del PRONAMEC, se concluye el proceso de elaboración del instrumento “Protocolo de Monitoreo Ecológico de Manglares”, que esperamos haya reunido las técnicas factibles de medición periódica y logísticamente viables para ser implementadas a nivel institucional.

## Resumen General de los Indicadores

Para caracterizar los elementos focales de manejo del Área Silvestre Protegida (ASP) y asegurar su viabilidad en el largo plazo se mide su integridad ecológica. Esta es una herramienta para valorar si el ASP está cumpliendo los objetivos para lo cual fue creada, a partir de los Elementos Focales de Manejo establecidos en el Plan General de Manejo. La integridad ecológica se compone de tres categorías:

TAMAÑO	CONTEXTO PAISAJÍSTICO	CONDICIÓN (Composición y estructura)
Mide el área de abundancia u ocurrencia del elemento focal de manejo. Una disminución en el tamaño mínimo y el número de hábitats naturales puede llevar a la desaparición de especies individuales.	Mide el grado en que los paisajes facilitan o impiden el movimiento de recursos entre diferentes hábitats o comunidades. Directamente relacionado con el grado de conectividad del hábitat, procesos de fragmentación, interrupción o agregación de hábitats.	Mide los procesos bióticos y abióticos dentro de la zona de ocurrencia del elemento focal de manejo. Incluye factores como: reproducción, composición biológica, estructura biológica, características ambientales, perturbaciones naturales y factores abióticos.

En la figura 1 se muestra un diagrama sobre la relación de los Elementos Focales de Manejo y sus indicadores priorizados.



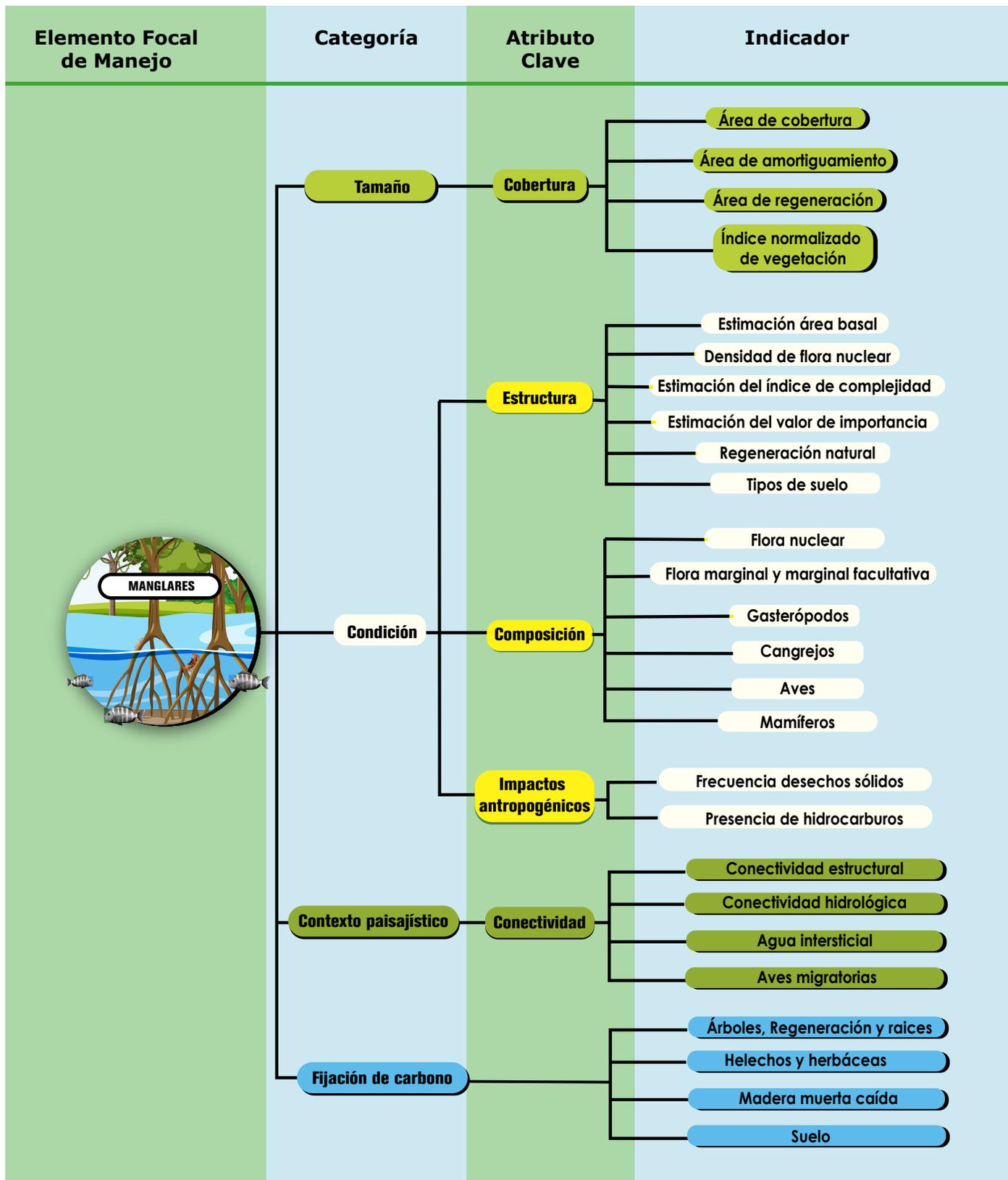


Figura 1. Elementos Focales de Manejo con sus categorías, atributos claves e indicadores.

## Previsiones Generales

---

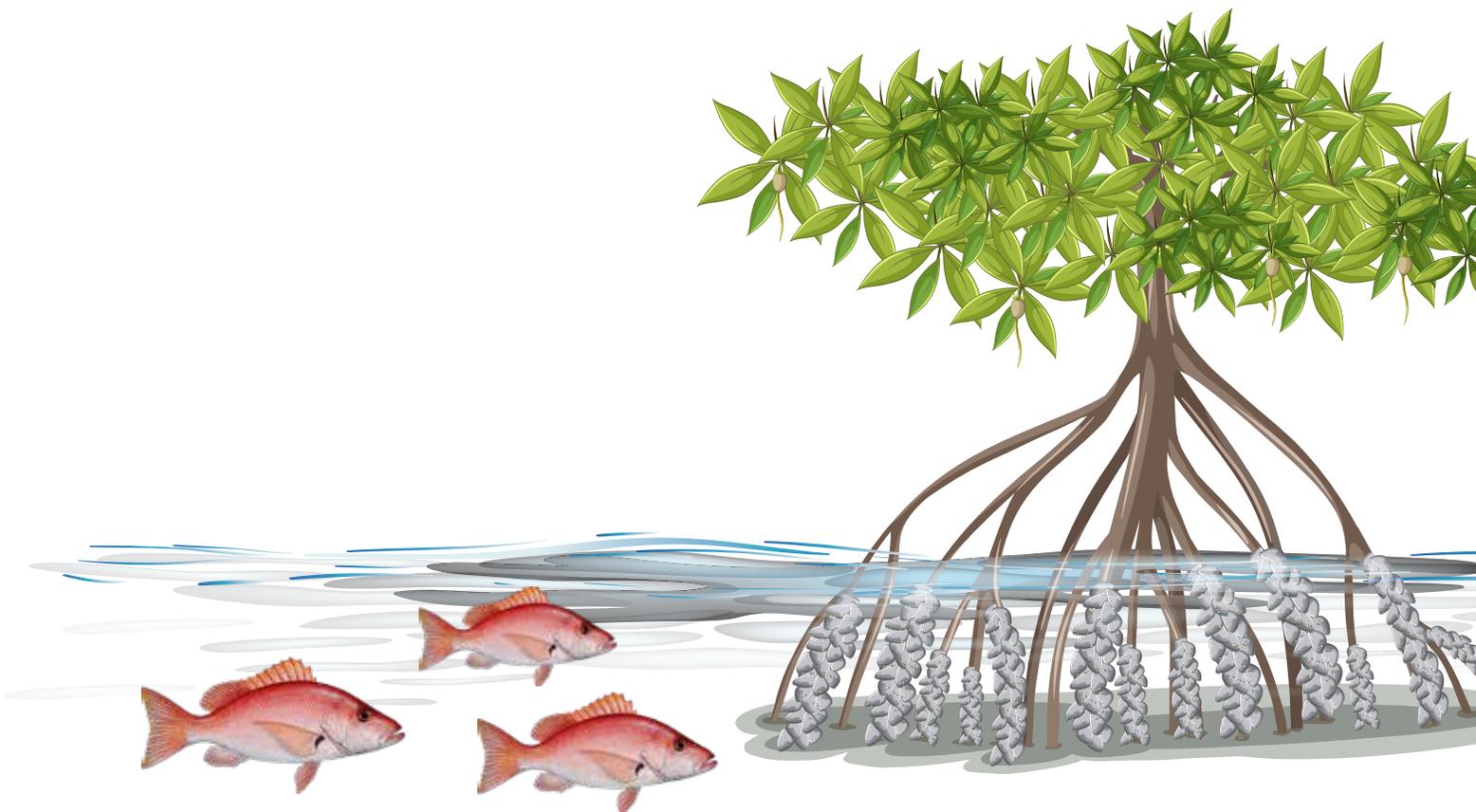
En términos generales los bosques de manglar, particularmente las áreas núcleo, plantean grados de dificultad importantes para la realización del trabajo de campo, específicamente en relación con la toma de datos estructurales, muestreos de suelos, agua intersticial y observaciones de biodiversidad, entre otros aspectos. La alta densidad de su cobertura boscosa, sustratos fangosos e inestables, raíces enmarañadas, sobre todo en los rodales de *Rhizophora*, el conocimiento y previsión del régimen de mareas e inclusive la alta densidad de insectos constituyen factores que sumados, incrementan la necesidad de tomar previsiones rigurosas antes de proceder con el trabajo de campo.

El uso de ropa inadecuada, el olvido del repelente de insectos, de una herramienta o de cualquier instrumental o material básico, pueden generar un atraso considerable e inclusive dar al traste con una jornada de trabajo; teniendo en cuenta que moverse y trasladarse dentro del manglar es, en la mayoría de los casos lento y dificultoso. Por tal razón, previo a la realización de una jornada de toma de datos de cualquier naturaleza en áreas de manglar deben tenerse presentes, entre otras; las siguientes previsiones:

- Definir previamente el número de personas que estarían participando, así como las tareas y responsabilidades específicas que a cada uno corresponde.
- Cada persona es responsable de sus enseres personales (ropa y zapatos adecuados, sombrero o gorra, maletín de espalda o canguro, bloqueador, repelente, agua, alimentación, medicinas).
- Establecer de previo la mejor ruta de acceso a los sitios específicos de trabajo o muestreo. Constituye una de las principales razones de atraso, desgaste físico y pérdida de tiempo, cuando no se ha tomado esta previsión. Utilizar mapas e imágenes locales es lo más conveniente.
- De acuerdo con las tareas a realizar, preparación cuidadosa de todo el equipo (multiparámetros), instrumentos (GPS, cintas diamétricas, cintas largas, clinómetro, cámara fotográfica, binóculos), herramientas (palas, martillos, cuchillo, barreno), materiales diversos (cuerdas previamente marcadas cada metro, clavos galvanizados, placas de aluminio, cinta reflectora de diferentes colores, tubos de PVC previamente preparados, pascón para extraer muestras de agua, botellas de muestreo, etiquetas para el rotulado de las muestras, plantillas para la toma de datos, libreta de campo, lápices, entre otros).
- Sumamente conveniente es prever el traslado de las muestras dentro del manglar una vez que han sido tomadas, particularmente de sedimentos y de agua intersticial, por lo tanto se debe de contar con un maletín o recipiente adecuado para esos efectos.
- Es fundamental tomar en cuenta el régimen de mareas y el tiempo disponible para llevar a cabo el trabajo de campo. Normalmente, y según la ubicación de las parcelas; se pueden considerar entre cuatro y seis horas de trabajo efectivo, de manera que las mareas idóneas corresponden a las más grandes y en las cuales el nivel más bajo se alcance alrededor de medio día. Es prácticamente imposible llevar a cabo cualquier trabajo de campo, particularmente la toma de muestras

de sedimento o de agua intersticial, una vez que el terreno ha sido inundado por la marea.

- Se debe planificar el tratamiento, traslado (hieleras si procede, prensas, etiquetas y rotulado cuidadoso), así como el procesamiento subsiguiente de las muestras, de manera que las mismas sean adecuadamente analizadas según corresponda. Esto incluye desde luego el manejo apropiado de la información generada en las bases de datos correspondientes.
- En el mismo sentido, deben tomarse las previsiones para la toma y tratamiento de la información de datos estructurales del manglar; en cuanto a la medición de diámetros, alturas según especies, localizaciones para cada transecto y parcelas de monitoreo; utilizando de manera adecuada las plantillas correspondientes y según lo señalado en el apartado de indicadores. Se debe considerar que por la naturaleza del trabajo en el manglar, la toma de los datos en el campo estará sujeta a correcciones, borrones, suciedad y humedad; por lo cual el uso de material indeleble para esta fase del trabajo de campo resulta lo más conveniente. En todo caso, es rigurosamente indispensable que la información recogida una vez finalizada la jornada de trabajo, sea de inmediato revisada y trasladada a las bases de datos previamente elaboradas, para su posterior análisis.



# Indicadores para el Monitoreo Ecológico de Manglares

## ATRIBUTO CLAVE: Cobertura

### INDICADOR 1 Área de Cobertura de Manglar

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> tamaño.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> cobertura.
<b>OBJETIVO:</b> determinar la cobertura de las especies florísticas de manglar.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> descarga de imágenes de satélite de Google Earth Engine que representen la época seca y comprobación de campo con GPS.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m.	<b>ESPACIALIDAD:</b> en toda el área comprendida por la flora nuclear y asociada al manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> 2 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en el manejo de sistema de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite uso de GPS y de la plataforma Google Earth Engine."
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de información en caso de ser necesario, aunque se puede trabajar desde la plataforma Google Earth Engine, GPS.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe de determinar como línea base el área que abarca la flora nuclear y asociada al manglar a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
Sin cambio	% de cambio de área de cobertura vegetal"
1 % de pérdida	
2 % de pérdida	

### Aspectos Relevantes.

Las áreas de manglar son ecosistemas complejos que están definidos como sistemas estuarinos, según la Convención Ramsar, y que no solo corresponden a aquellas zonas en donde se encuentra la flora nuclear (*Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. bicolor* y *Conocarpus erectus*), sino que incluye la flora asociada al manglar. De acuerdo con el decreto N° 35803-MINAET, "El límite se va a establecer hasta dónde se extienda la vegetación asociada con este ecosistema", la lista de tales especies se encuentra en el anexo 1 de dicho decreto. Por lo tanto, se debe considerar como indicador la extensión del ecosistema de manglar que incluya todas esas especies.

### Descripción Metodológica.

Se procesarán imágenes de satélite del sensor Sentinel-2A (TIR 1) y Sentinel-2 B (TIR 1) en la plataforma Google Earth Engine. El uso de las imágenes del sensor Landsat 8, será una alternativa ante la presencia de nubosidad en las imágenes de Sentinel (Figura 2). El acceso a la plataforma GEE se realizará mediante el complemento Google Earth Engine Plugins y mediante script se procesará el área seleccionada o bien directamente desde su plataforma web. Se seleccionarán los mejores píxeles para un periodo del 2018 al 2029, para establecer la línea base. Para cada área de manglar se trabajará con una máscara y mosaico si fuese necesario.

Para complementar este tema se deberá anexar información descargada del "Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas" (<https://simocute.org>).

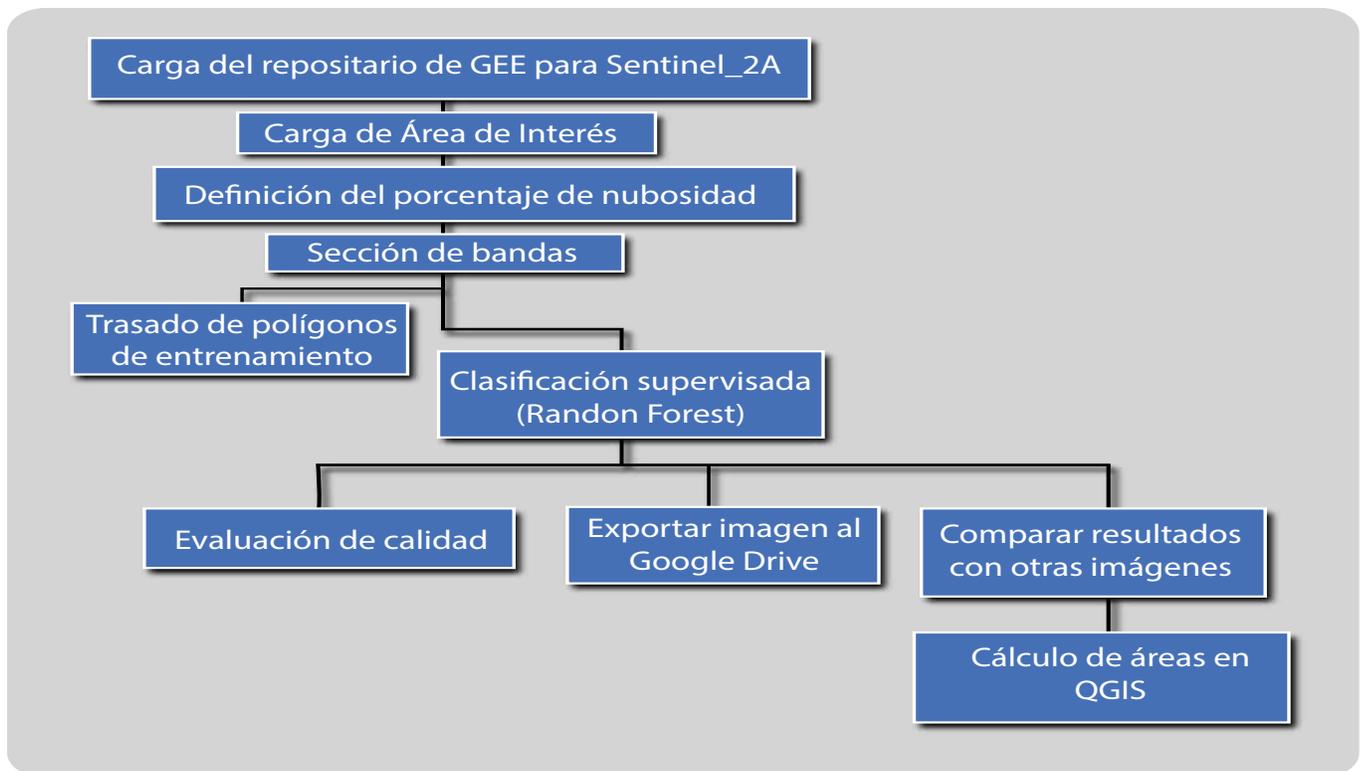
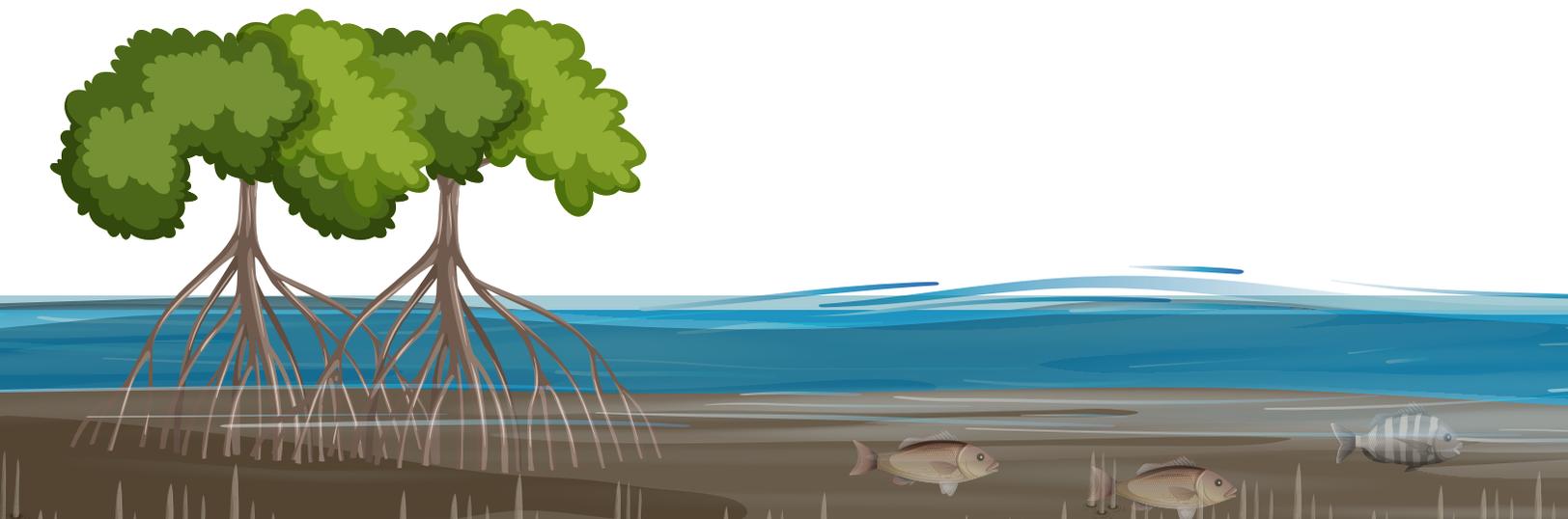


Figura 2. Flujo de trabajo para el procesamiento de imágenes.

Para llevar a cabo este proceso se requerirá que la contraparte posea computadora de al menos un procesador Intel COREi 7, con disco duro de 1 Tera. También debe considerarse la capacitación para el personal del área de conservación.

**Cuadro 1. Interpretación de la variación en el porcentaje de cobertura del manglar.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Aumento del 1 %	Aumento de la cobertura del 1 % será indicador de áreas que se están rehabilitando o restaurando naturalmente.	Continuar con el monitoreo y realizar una comprobación de campo para caracterizarlas.
Sin cambio	Las variaciones de la cobertura se mantienen constantes o tienden a aumentar.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 1 %	Una variación del 1 % es indicadora de alguna perturbación antropogénica, principalmente, aunque hay que considerar posibles afectaciones naturales, por ejemplo las crecidas de los ríos o desplazamientos del terreno.	Determinar la fuente del impacto y proponer medidas para mitigar la afectación.  Si se identifica una causa antropogénica iniciar el proceso de denuncia.
Pérdida de más de 2 %	Una reducción de esta magnitud indica una afectación importante y compromete la estabilidad del ecosistema. Impactos de esta magnitud tienen una alta probabilidad de ser generados de forma antropogénica.	Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables.

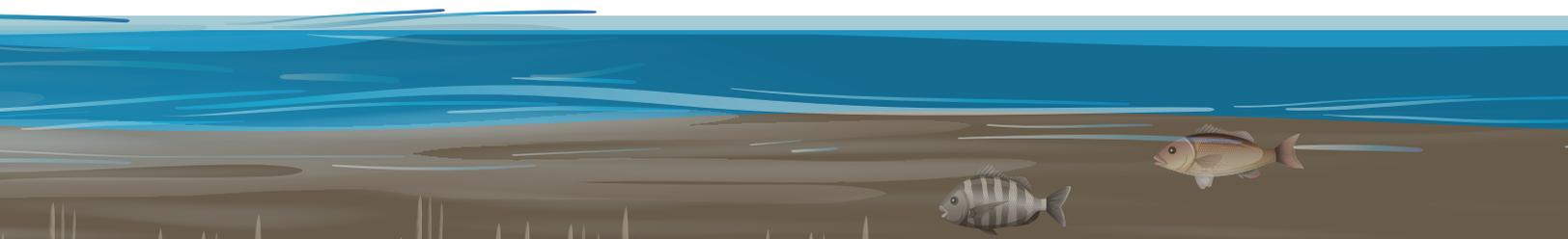


## INDICADOR 2 Área de Amortiguamiento

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> tamaño.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> cobertura.
<b>OBJETIVO:</b> determinar el área externa al ecosistema de manglar representada por una franja igual o mayor a 20 metros tierra adentro.”	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> descarga de imágenes de satélite que representen la época seca y reconocimiento de campo con GPS.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m.	<b>ESPACIALIDAD:</b> borde externo al manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> 2 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en el manejo de sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite y uso de GPS. Identificación de plantas asociadas a ecosistemas de humedal (según índice de prevalencia).
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de imágenes, GPS.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
1 % de aumento	% de cambio de área de amortiguamiento
Sin cambio	
1 % de pérdida	
2 % de pérdida	

### Aspectos Relevantes.

Los ecosistemas de manglar limitan en su parte interna con diversas actividades de tipo antropogénicas, las cuales ponen en riesgo la integridad del mismo. En el decreto N° 40244-MINAE-PLAN, que oficializa la Política Nacional de Humedales, establece que se debe tomar en cuenta la definición de un área de amortiguamiento para la migración de especies de manglar tierra adentro y le permita reducir el impacto de las actividades que se desarrollan a su alrededor. Benavides *et al.* (2016) y Sanabria-Coto *et al.* (2018), resaltan la necesidad de la definición de esta zona de amortiguamiento.



### Descripción Metodológica.

Se procesarán imágenes de satélite tal como se describe en el indicador 1 de Área de cobertura de manglar, además se incluyen los datos de campo que definen la extensión de la franja.

**Cuadro 2. Interpretación de la variación del área de amortiguamiento.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
1 % de aumento	Aumento de la cobertura del 1 % será indicador de áreas que se están rehabilitando o restaurando naturalmente.	Continuar con el monitoreo y realizar una comprobación de campo para caracterizarlas.
Sin cambio	Variaciones del área de amortiguamiento se mantienen constantes o tienden a aumentar.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 1 %	Una variación del 1 % es indicadora de alguna perturbación antropogénica, principalmente, aunque hay que considerar posibles afectaciones naturales como las crecidas de los ríos o desplazamientos del terreno.	Determinar la fuente del impacto y proponer medidas para mitigar la afectación. Si se identifica una causa antropogénica iniciar el proceso de denuncia. Analizar imágenes previas a la analizada.
Pérdida de más de 2 %	Una reducción de esta magnitud indica una afectación importante y compromete la estabilidad del ecosistema. Impactos de esta magnitud tienen una alta probabilidad de ser generados de forma antropogénica.	Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables. Analizar imágenes previas a la analizada.

### INDICADOR 3 Área de Regeneración

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** tamaño.

**ATRIBUTO CLAVE:** cobertura.

**OBJETIVO:** determinar las áreas de regeneración de manglar natural o artificial.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** recorrer distintas áreas del manglar, tanto dentro como marginales y ubicar con GPS los sitios de regeneración. Este proceso de identificación se llevará a cabo durante la puesta y medición de parcelas o inspecciones de las áreas que se hagan en otro momento.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.

**ESPACIALIDAD:** en los bordes del manglar o en sitios internos identificados.

**PERSONAL REQUERIDO:** 2 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en el manejo de sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite y uso de GPS.

**EQUIPO REQUERIDO:** computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de imágenes, GPS.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Aumento

1 % de pérdida

2 % de pérdida

% de cambio de área regeneración

#### Aspectos Relevantes.

La regeneración natural o artificial del ecosistema de manglar les permite a las especies permanecer en el tiempo, particularmente después de alguna perturbación. Esta capacidad de regeneración está en función de las estrategias de producción y dispersión de las especies, así como de la sobrevivencia ante factores fisicoquímicos y biológicos (Hoyos *et al.* 2013, Valle *et al.* 2011).

#### Descripción Metodológica.

Las áreas de regeneración no suelen ser detectadas por los sistemas satelitales, por lo tanto deben ser registradas con datos tomados por GPS y transferidos a un sistema de información geográfica para su mapeo y cálculo del área como indicador de cambio. En caso de que la extensión del parche de regeneración sea mayor a 600 m<sup>2</sup> se dará seguimiento con imágenes de satélite calculando el Índice Normalizado de Vegetación, NDVI (ver indicador 4). Este parámetro puede calcularse cada mes para comprender cómo es afectada la regeneración por cambios en las condiciones ambientales.

**Cuadro 3. Interpretación de la variación de las áreas de regeneración.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
1 % de aumento	Aumento de la cobertura del 1 % será indicador de áreas que se están rehabilitando o restaurando naturalmente.	Continuar con el monitoreo y realizar una comprobación de campo para caracterizarlas.
Sin cambio	Variaciones de áreas de regeneración se mantienen constantes o tienden a aumentar.	Continuar con el monitoreo de este indicador. Adicionalmente, realizar comprobaciones de campo.
Pérdida del 1 %	Una variación del 1 % es indicadora de alguna perturbación antropogénica, principalmente o cambios en el régimen hidrológico. También habría que considerar posibles afectaciones naturales como las crecidas de los ríos o desplazamientos del terreno.	Determinar la fuente del impacto y proponer medidas para mitigar la afectación. Si se identifica una causa antropogénica iniciar el proceso de denuncia. Analizar imágenes previas a la analizada. Analizar el comportamiento de la precipitación durante el año.
Pérdida de más de 2 %	Una reducción de esta magnitud indica una afectación importante y compromete la estabilidad del ecosistema. Impactos de esta magnitud tienen una alta probabilidad de ser generados de forma antropogénica, sin embargo, cambios en el comportamiento hidrológico puede tener una afectación importante.	Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables. Analizar imágenes previas a la analizada Analizar el comportamiento de la precipitación.

## INDICADOR 4 Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> tamaño.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> cobertura.
<b>OBJETIVO:</b> calcular el NDVI para determinar el estado de salud de la vegetación.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año, revisando imágenes de época seca.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> recorrer distintas áreas del manglar correspondientes a flora nuclear del manglar para realizar comprobaciones de campo y toma de puntos de GPS. Este proceso de identificación se llevará a cabo durante puesta y medición de parcelas.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función de régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> área de flora nuclear
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> 2 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en el manejo de sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite y uso de GPS.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de imágenes, GPS.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b> 0.66 – 1 Buen estado de salud 0.33 – 0.66 Deficiente estado de salud 0.00 – 0.33 Mal estado de salud	

### Aspectos Relevantes.

Mediante imágenes de satélite de Sentinel 2A y 2B, se puede calcular el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) a través de la plataforma Google Earth Engine, este se calcula a partir de las bandas que componen la imagen. Los valores del NDVI están en función de la energía absorbida o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente la banda roja, y el Infrarrojo Cercano (IRC). Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el IRC, las paredes de las células de las hojas que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía.

En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el IRC y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas.

### Descripción Metodológica.

A partir de las bandas de las imágenes de satélite se podrá calcular el NDVI con la siguiente fórmula

	Sentinel	Landsat 8
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$\frac{B8A - B4}{B8A + B4}$	$\frac{B5 - B4}{B5 + B4}$

**Cuadro 4. Interpretación de la variación del NDVI.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
0.66 – 1	Es un buen estado de salud, indicador de un buen régimen hídrico.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
0.33 – 0.66	<p>Cambio en el estado de salud, evidencia un deterioro en la vegetación. Posible cambio en el régimen hídrico.</p> <p>También habría que considerar posibles afectaciones naturales como las crecidas de los ríos o desplazamientos del terreno.</p>	<p>Determinar la fuente del impacto y proponer medidas para mitigar la afectación.</p> <p>Si se identifica una causa antropogénica iniciar el proceso de denuncia.</p> <p>Analizar imágenes previas a la analizada.</p> <p>Analizar el comportamiento de la precipitación durante el año.</p>
0.0 – 0.33	Demuestra un deterioro fuerte de la vegetación. Deterioros de esta magnitud tienen una alta probabilidad de ser generados de forma antropogénica, en particular por cambios en el sistema hídrico.	<p>Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables.</p> <p>Analizar imágenes previas a la analizada.</p> <p>Analizar el comportamiento de la precipitación.</p>

## ATRIBUTO CLAVE: Estructura

### INDICADOR 5 Estimación de Área Basal

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> estructura.
<b>OBJETIVO:</b> determinar variaciones estructurales en la composición de los manglares.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año. En áreas de regeneración dos veces al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 8 a 24 parcelas distribuidas en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7 a.m. a 4 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> de acuerdo con la homogeneidad y heterogeneidad de la composición florística del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de especies nucleares de mangle y técnicas básicas de medición forestal.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> cinta métrica de 30 m, cintas diamétricas, GPS, hoja de datos, marcas, pinturas y pinceles.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0 - 10 %	
11 - 20 %    % de reducción del área basal estimada para las especies encontradas	
+ de 21 %	

#### Aspectos Relevantes.

Es un indicador del espacio ocupado por cada árbol (fuste) a nivel del DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) y también es una representación de la densidad del bosque, en tanto combina espacio ocupado (DAP) y número de árboles. En este caso el cálculo del diámetro cuadrático medio relacionado con la superficie ocupada por el número de árboles en el rodal, es reportado en m<sup>2</sup>/ha y puede ser representado por categorías diamétricas (Husch *et al.* 1993; Cintrón-Morelo & Schaeffer-Novelli, 1984) . El área basal total corresponde a la suma de todas las áreas basales de todos los individuos y constituye un indicador del aporte total de biomasa de cada especie al ecosistema.

Debe ser valorado en asocio con indicadores como densidad, dominancia y junto con otros parámetros biofísicos que determinan y condicionan la calidad ambiental del sitio, así como los factores externos que pudieren estar incidiendo en su variación.

### Descripción Metodológica.

Los criterios específicos de selección de los manglares serán establecidos de acuerdo con las prioridades definidas por el SINAC, considerando representatividad, ubicación, condición general actual, amenazas y viabilidad de implementación del monitoreo permanente, de acuerdo con los recursos disponibles.

Cada manglar seleccionado deberá ser previamente zonificado utilizando imágenes satelitales, con el fin de ubicar áreas homogéneas y grados de heterogeneidad de la vegetación nuclear como base para definir el esfuerzo de muestreo, a partir del número y ubicación de las parcelas permanentes de monitoreo. Teniendo como premisa lo anterior, y el grado de dificultad de las áreas, idealmente se estarían considerando de 8 a 10 parcelas por cada 100 hectáreas, de 16 a 24 hasta 500 hectáreas y de 24 a 36 para manglares de más de 1000 hectáreas. Una vez definidos los sitios se establecerán transectos perpendiculares a los gradientes fisicoquímicos (Cintrón-Morelo & Schaeffer-Novelli, 1984), sobre los cuales se ubicarán convenientemente distribuidas parcelas de 10 x 10 m, de acuerdo con la composición y heterogeneidad de los rodales; de manera que sean representativas de áreas mayores. También es importante considerar la dirección del gradiente físico químico y el gradiente estructural (Figura 3).

Se deberá seguir los procedimientos estándar de establecimiento y demarcación, tanto de los transectos como de las parcelas, ubicados mediante GPS, con el fin de que sean fácilmente localizables en monitoreos posteriores recorrer distintas áreas del manglar correspondientes a flora nuclear del manglar para realizar comprobaciones de campo y toma de puntos de GPS. Este proceso de identificación se llevará a cabo durante puesta y medición de parcelas. Una vez ubicado el sitio para el establecimiento de la parcela se debe orientar uno de sus lados hacia el norte y empezar a hacer las mediciones y demarcaciones a partir de este punto, según se indica en la figura 3. Debe enfatizarse que las parcelas constituyen la unidad de muestreo en las cuales se llevarán a cabo la mayoría de las mediciones para la toma de información.

En cada parcela se identificarán las especies presentes, las cuales se codificarán y marcarán con placas de aluminio (Figura 4) y/o pintura fluorescente, dichas marcas deberán de orientarse hacia el centro de la parcela, donde se ubicara el tubo según se detalla en el indicador # 21; esto con el fin de asegurar el seguimiento en mediciones posteriores. Con cinta diamétrica se medirán los DAP mayores a 2.5 cm, a una altura de 1.3 m; la cual deberá también ser debidamente marcada, ya sea con el clavo o la pintura sobre el que se continuará midiendo justo por encima; para asegurar que las siguientes mediciones se realicen a la misma altura. En caso de que la medición se haga con una cinta métrica, el dato obtenido corresponde a la circunferencia del árbol, por lo que debe hacerse la conversión a DAP, para lo cual se aplicaría la siguiente ecuación:

$$DAP = C / \pi$$

Donde:

**DAP** = Diámetro a la altura del pecho

**C** = Circunferencia

$\pi$  = 3.14159

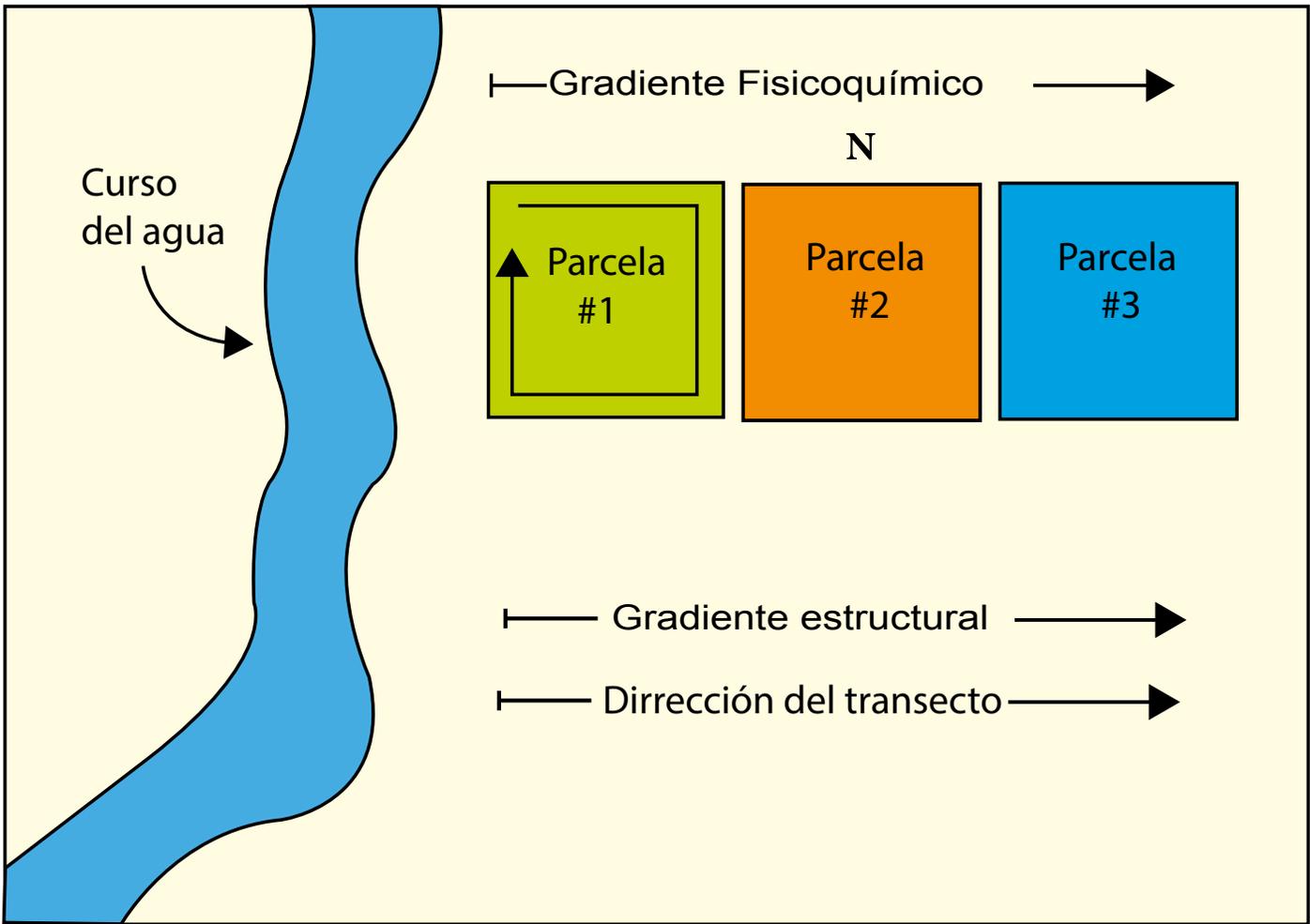


Figura 3. Ubicación y dirección de las parcelas de tamaño 10 m x 10 m.

Figura 4. Ubicación de la placa de aluminio para codificar y marcar los árboles en el ecosistema de manglar.



De acuerdo con el estado, variabilidad, grado de desarrollo y madurez del bosque; deberán establecerse categorías de medición según el diámetro de los árboles. Normalmente se establecen rangos mayores a 2.5 cm, hasta 10.0 cm y más de 10.0 cm de diámetro. Se recomiendan frecuencias de monitoreo cada dos años para bosques maduros y de un año o menos en bosques de regeneración.

Deberán realizarse las mediciones considerando ramificaciones por debajo de la altura de 1.3 m. La figura 5 muestra diferentes mediciones de acuerdo con la particularidad de cada individuo o condición del terreno.

El área basal será calculada para todos los individuos de cada parcela como paso previo para estimar el valor total para cada parcela, se estima para cada especie y extrapolada al área representada por las parcelas en los rodales seleccionados previamente.

Normalmente el área basal es expresada en m<sup>2</sup>/ha y se calcula mediante la fórmula:

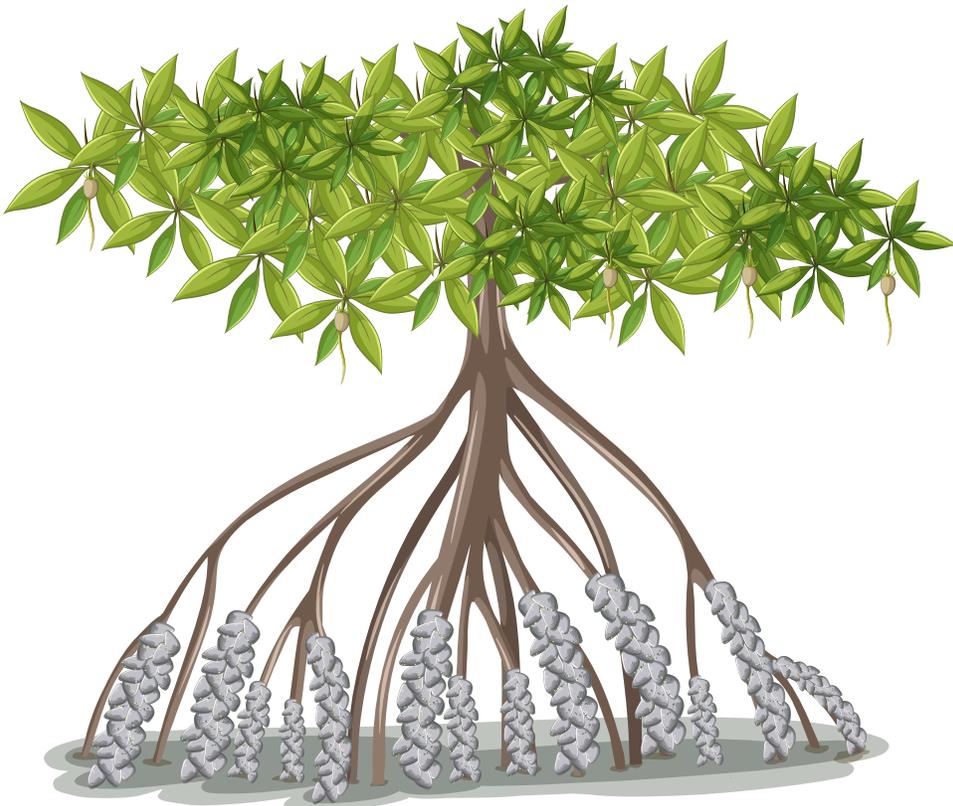
$\pi D^2$

$$AB = \frac{\pi D^2}{4 (10\ 000)}$$

$$AB (m^2) = DAP^2 \times 0.00007854$$

**Donde:**

AB = Área Basal  
 DAP= Diámetro a la altura del pecho (1.3 m)  
 0.00007854 = Constante



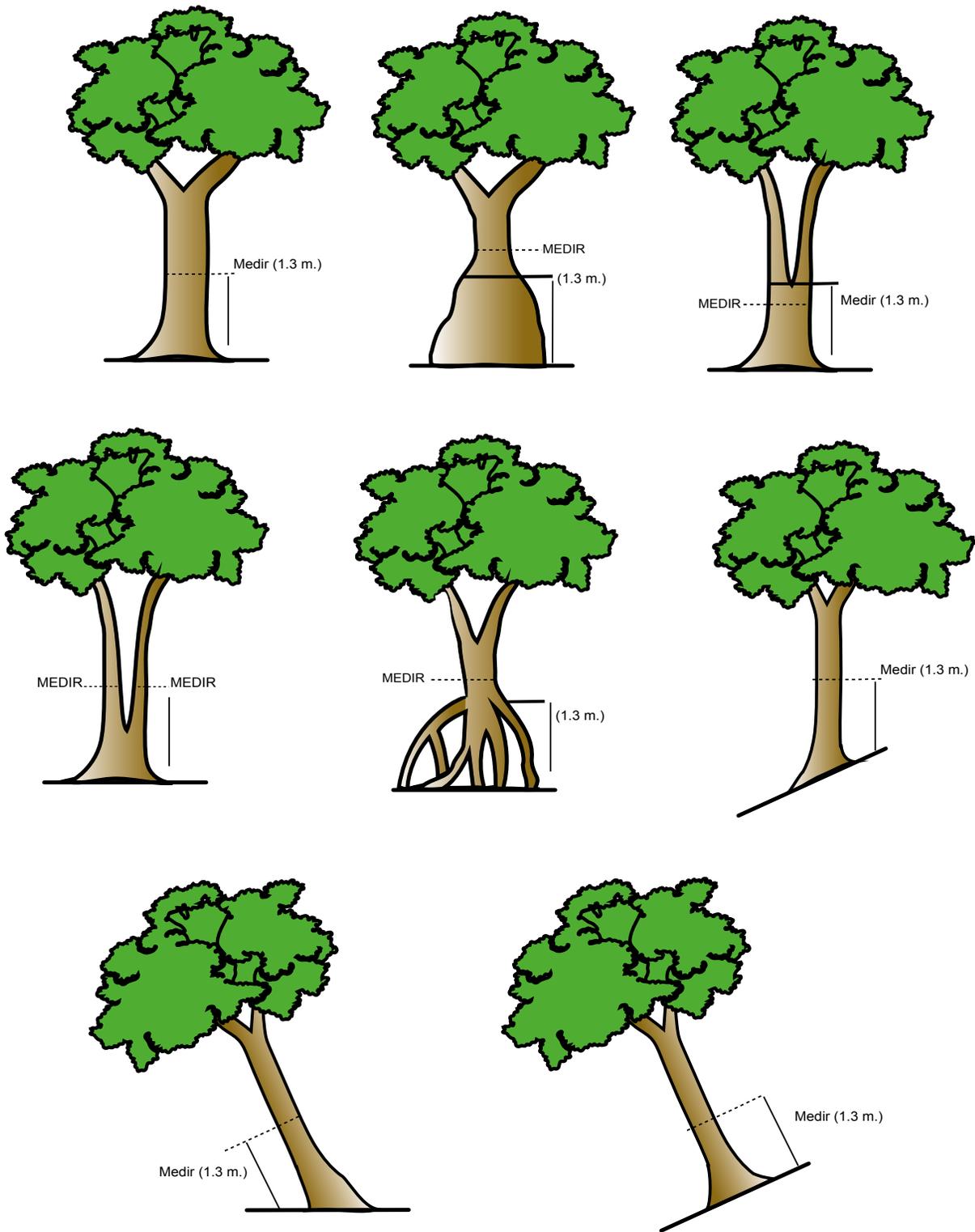


Figura 5. Diferentes mediciones para DAP (1.3 m), de acuerdo con la particularidad de cada individuo o condición del terreno.

## INDICADOR 6 Densidad de Especies Nucleares

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> estructura.
<b>OBJETIVO:</b> cuantificar la densidad de cada una de las especies nucleares.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año. En áreas de regeneración dos veces al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 8 a 24 parcelas distribuidas en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7 a.m. a 4 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> de acuerdo con la homogeneidad y heterogeneidad de la composición florística del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de especies nucleares de mangle.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> cinta métrica de 30 m, GPS, hoja de datos, marcas, guía de identificación.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0 - 10 %	% de reducción del número de especies contabilizadas
11 - 20 %	
+ de 21 %	

### Aspectos Relevantes.

Constituye un buen indicador de la condición del manglar. Debe ser analizado en relación con el Área Basal (AB), en tanto valores altos de AB y pocos individuos estarían representando bosques maduros. Un gran número de árboles de diámetro reducido indicaría un bosque joven o con limitaciones de crecimiento; por ello su valoración está asociada directamente con la calidad ambiental del sitio, y el espacio de crecimiento será determinado por las especies dominantes hasta alcanzar su condición de equilibrio.

El mayor o menor crecimiento de las especies depende de los factores ambientales y generará competencia interespecífica hasta alcanzar condiciones de estabilidad o bien de alteración, de acuerdo con condiciones cambiantes o inestables, incluyendo cambio climático, o propiciadas desde alteraciones exógenas como contaminación, importación de sedimentos, traslado de nutrientes, deforestación, entre otros factores. Estos aspectos deberán ser incorporados como indicadores y dilucidados a partir de los monitoreos periódicos y en combinación con las variables pertinentes.

**Descripción Metodológica.**

Corresponde al número de individuos presentes en un área determinada, para cada una de las especies presentes.

**D = N° individuos (especie)/ha**

Se deben contar todos los individuos con DAP igual o mayor a 2.5 cm en cada parcela, considerando el número de individuos totales y por especie y dividirlo por el área total muestreada. También se debe anotar la cantidad de individuos y/o ramificaciones muertas que hayan dentro de cada parcela.

**INDICADOR 7 Estimación del Índice de Complejidad**

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> estructura.
<b>OBJETIVO:</b> estimar el índice de complejidad de cada manglar monitoreado.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año. En áreas de regeneración dos veces al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 8 a 24 parcelas distribuidas en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7 a.m. a 4 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> de acuerdo con la homogeneidad y heterogeneidad de la composición florística del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de especies nucleares de mangle y técnicas básicas de medición y análisis forestal.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> cinta métrica de 30 m, cintas diamétricas, GPS, clinómetros, hoja de datos, marcas.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0 – 10 %	% de reducción del número de especies contabilizadas.
11 – 20 %	
+ de 21 %	

**Aspectos Relevantes.**

Constituye un indicador representativo de la condición del manglar, en tanto refleja el grado de desarrollo y complejidad del bosque, es además sensible a cambios estructurales producto de condiciones internas o alteraciones exógenas que distorsionen su condición natural.

Tales condiciones pueden incidir en variaciones en la densidad, crecimiento, desaparición o aparición de una especie en particular, de manera que estos cambios estarán siendo representados positiva o negativamente en el valor del indicador de complejidad (IC). Constituye a la vez un valor relevante que permite establecer comparaciones entre diferentes sitios del manglar o entre manglares, con lo cual se pueden visualizar cambios significativos sujetos de atención, principalmente en el ámbito regional.

### Descripción Metodológica.

Se estimará la altura total del árbol a partir de la base del suelo hasta la parte más alta de la copa (Figura 6), para lo cual se utilizará el clinómetro. Para conocer la altura total promedio se procederá a sumar las alturas y se promedian por el número de árboles medidos. Por otra parte, si bien las parcelas permanentes de muestreo corresponden a 100 m<sup>2</sup>, según se indicó anteriormente; convencionalmente los resultados finales deben reportarse a 0.1 Ha.

El análisis combinado de parámetros tomados directamente en las parcelas y que incluyen la medición del DAP y por tanto el cálculo del área basal, la altura de los árboles, la estimación de la densidad y evidentemente el número de especies presentes, permite estimar el Índice de Complejidad del manglar mediante la aplicación de la fórmula establecida por Cintrón-Morelo & Schaeffer-Novelli (1984):

$$IC = \frac{(H \times AB \times D \times S)}{1000}$$

Donde: **IC** = Índice de Complejidad  
**H** = Altura  
**AB** = Área Basal  
**D** = Densidad  
**S** = Número de especies presente

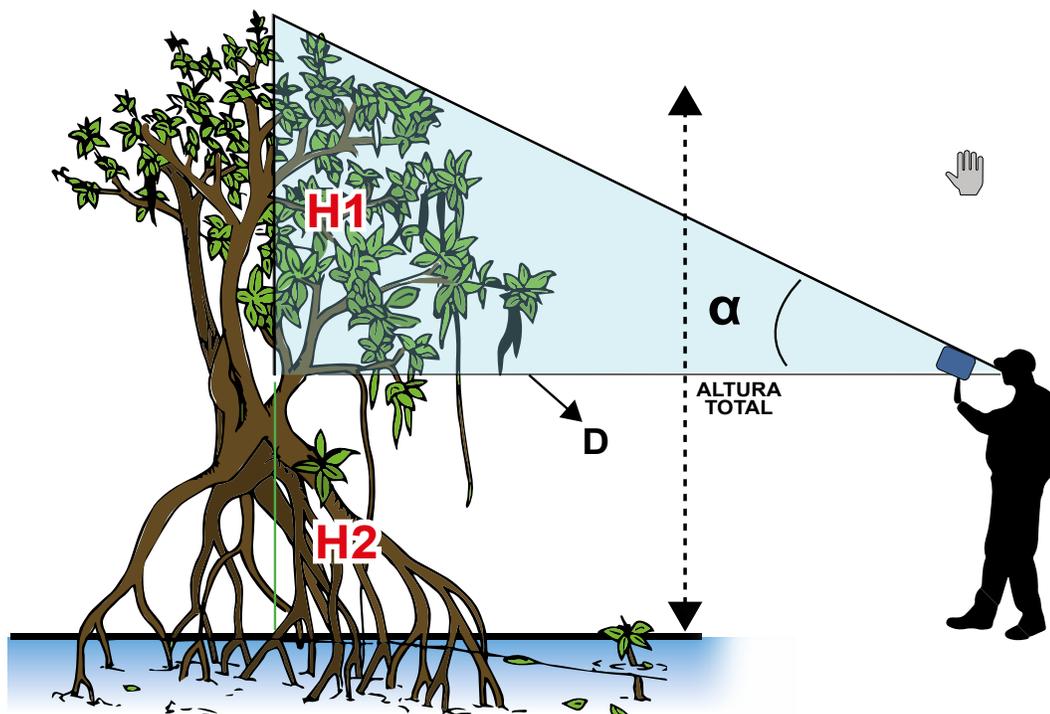


Figura 6. Esquema de medición de altura total de árboles de mangle con clinómetro: H1= Distancia del árbol x tangente (ángulo α); H2=Altura del ojo sobre el suelo; Altura de árbol = H1 + H2

**INDICADOR 8 Estimación del Valor de Importancia**

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> estructura.
<b>OBJETIVO:</b> estimar la importancia ecológica de las especies.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año. En áreas de regeneración dos veces al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 8 a 24 parcelas en cada sitio de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7 am a 4 pm, en función del régimen de mareas. A partir de la media vaciante y hasta que la marea lo permita.	<b>ESPACIALIDAD:</b> de acuerdo con la homogeneidad y heterogeneidad de la composición florística del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de especies nucleares de mangle y técnicas básicas de medición y análisis forestal.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> cinta métrica de 30 m, cintas diamétricas, GPS, clinómetros, hoja de datos, marcas.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0 – 10 %	% de reducción del número de especies contabilizadas.
11 – 20 %	
+ de 21 %	

**Aspectos Relevantes.**

De acuerdo con las variables ambientales específicas (tipo de sustrato, accesibilidad a los nutrientes, salinidad y temperatura, exposición a la luz, etc.) que determinan el desarrollo de las especies vegetales en un ecosistema, se establecerá un aporte desigual de cada una de ellas en la condición y desarrollo estructural del ecosistema de manglar. En ese sentido el Índice de Valor de Importancia (IVI) indica el grado que cada especie presente en el ecosistema aporta al desarrollo estructural, lo cual se deduce de los parámetros previamente medidos; a saber: densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa.

En el caso de los manglares de Costa Rica, donde el número de especies nucleares es reducido; la amenaza de impactar los ecosistemas de diferente manera podría generar efectos diferenciados en las especies presentes en un sitio en particular. El IVI permite establecer en primera instancia, cuáles especies presentes contribuyen en mayor o menor porcentaje en la composición estructural del manglar y dado que se fundamenta en la

medición de frecuencias, densidades y dominancia relativas, variaciones estacionales o sostenidas en determinadas áreas del manglar o de este en su totalidad, podrían estar reflejando afectaciones externas en alguna(s) de las especies presentes en el sitio.

Podría resultar significativa la variación del IVI, a partir de los efectos generados por cambio climático, asumiendo que cada especie pudiese tener diferente rango y capacidad de respuesta a tales afectaciones y estas se vean reflejadas por variaciones en la abundancia, crecimiento y aporte relativo de cada especie en la estabilidad estructural del ecosistema.

### Descripción Metodológica.

A partir de la estimación previa de parámetros obtenidos en las parcelas y que permiten conocer áreas basales, densidad, dominancia y frecuencia de las especies encontradas, es posible establecer el aporte de cada especie a la riqueza del ecosistema en el sitio de estudio.

Dichos parámetros se establecen para cada especie a partir de la estimación de los siguientes parámetros:

$$\text{Área Basal:} \quad AB = 0,00007854 \times (\text{DAP})^2$$

$$\text{Densidad relativa:} = \frac{\# \text{ individuos sp}}{\# \text{ total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa:} = \frac{\text{Dominancia sp (AB)}}{\text{Dominancia total (AB total)}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa: Fr} = \frac{\text{Frecuencia sp}}{\Sigma \text{ Frecuencia total sp}} \times 100$$

Y de acuerdo con lo establecido por Villavicencio-Enríquez & Valdez-Hernández (2003) se calcula el Valor de Importancia por la fórmula.

$$\text{IVI} = \text{Dr} + \text{Domr} + \text{Fr}$$

Donde: **IVI** = Valor de Importancia

**Dr** = Densidad relativa (%)

**Domr** = Dominancia relativa (%)

**Fr** = Frecuencia relativa (%)

**Cuadro 5. Interpretación integrada de indicadores estructurales en los sitios de monitoreo (Área Basal, Valor de Importancia, Índice de Complejidad, Densidad).**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de estos indicadores.
Pérdida del 11-20 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como cambios en la temperatura, calidad del agua, factores hidrológicos o cambio climático.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las variaciones en el aporte de biomasa al ecosistema y con ello proponer medidas de manejo como control de talas, contaminación, o medición de indicadores específicos asociados al cambio climático. Poner especial atención a las variaciones en cada especie, considerando factores ambientales que afectan de manera desigual a cada una. También existen intereses y efectos desiguales generados desde la actividad humana, no solo con fines extractivos, sino para ocupar espacios de interés económico en sitios donde prevalecen ciertas especies.
Pérdida de más de 21 %	Una reducción de esta magnitud indica una afectación seria a la estabilidad del ecosistema con alta probabilidad de afectación antrópica. En particular ocurre un proceso sostenido de reducción, generados también en otros factores ambientales o cambio climático.	Deberán precisarse los monitoreos y eventualmente incrementar su frecuencia, con el fin de detectar cambios en períodos cortos o estacionales, poniendo especial atención a causas antrópicas. Además la incorporación de mediciones asociadas al clima, fuentes específicas de contaminación, disponibilidad de nutrientes. A partir de estos análisis, incorporar medidas de regulación en aquellos aspectos susceptibles de ser controlados, especialmente las acciones humanas, que pudieren estar incidiendo.

## INDICADOR 9 Regeneración Natural

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** condición.

**ATRIBUTO CLAVE:** estructura.

**OBJETIVO:** determinar variaciones en los estados tempranos de las especies de mangle.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** entre una y dos veces al año en las mismas parcelas establecidas para el monitoreo estructural. Esta frecuencia dependerá de la disponibilidad de personal y presupuesto, pero se recomienda dos veces debido a la susceptibilidad de las plantas a las condiciones ambientales.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** cuatro cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> colocados en las esquinas de cada parcela de monitoreo.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7 a.m. a 4 p.m. en función del régimen de mareas.

**ESPACIALIDAD:** de acuerdo con la presencia de áreas de regeneración en los mismos espacios donde se evalúan parámetros estructurales.

**PERSONAL REQUERIDO:** de 2 a 4 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en identificación de especies nucleares de mangle y técnicas básicas de medición y análisis forestal.

**EQUIPO REQUERIDO:** cinta métrica de 3 m, GPS, vernier, hoja de datos.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Más de 0.75 cm/mes

Entre 0.50 a 0.74 cm/mes

Menos de 0.50 cm/mes

Variación en la tasa de crecimiento de las especies de mangle.



### Aspectos Relevantes.

Es un indicador pertinente para estimar la capacidad de la vegetación para regenerarse y también las reacciones ante cambios naturales o externos generados en las actividades antrópicas, incluyendo eventuales efectos del cambio climático, en especial si las mediciones pudieren llevarse a cabo en períodos trimestrales o de mayor frecuencia.

En el caso de los bosques de manglar, algunos factores ambientales son especialmente críticos en el crecimiento normal de las plántulas, funcionando como limitantes la disponibilidad lumínica (Jansen, 1985), la salinidad del agua intersticial (López-Hoffman *et al.* 2006), así como los tipos de sustratos y periodicidad de las mareas, según su ubicación horizontal (Ellison & Farnsworth, 1993, 1996; McKee, 1995); además de otros factores como las variaciones climáticas estacionales como precipitaciones, temperatura, escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos de zonas aledañas (Hoyos *et al.* 2013).

Estas condiciones de relativa vulnerabilidad y sensibilidad a condiciones cambiantes estacionales y espaciales, generan respuesta rápida de la regeneración en los manglares, por lo cual la frecuencia de monitoreo en este caso debe ajustarse según las variaciones visibles del corto y mediano plazo con el fin de detectar los posibles desencadenantes, particularmente cuando estas pudiesen ser generadas por razones antrópicas.

### Descripción metodológica.

Para la valoración de la regeneración natural en zonas previamente identificadas y que podrían estar alejadas de las parcelas para la evaluación estructural, se colocarán tres subparcelas de 1 m<sup>2</sup>, separadas con una distancia mínima de 5 m. Esta distancia dependerá del área del parche identificado en el indicador 3.

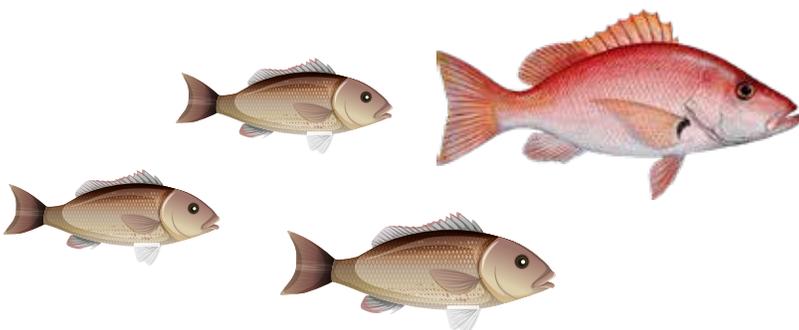
Como en las parcelas para la evaluación estructural también puede haber regeneración, se colocarán cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> en cada esquina, para un total de 4 (Figura 7). Estas subparcelas requieren especial atención y cuidado para no dañar su contenido con la presencia del personal, particularmente porque estos cuadrantes se utilizarán para el conteo de gasterópodos y madrigueras de cangrejos (indicadores 13 y 14).

Para la numeración de las subparcelas se debe considerar que la "A" estará en la esquina noroeste, la "B" al noreste, "C" al sureste y "D" al suroeste. En cada subparcela se contarán las plántulas presentes con diámetros menores de 2.5 cm, a cada uno se le medirá la altura y a la mitad de esta se medirá el diámetro. Estos registros permitirán valorar los incrementos en talla y diámetro del conjunto en la parcela y aportará información sobre la densidad, incluyendo tasa de sobrevivencia. Como indicador se utilizará la variación en la tasa de crecimiento de las especies de mangle.



**Cuadro 6. Interpretación de la variación en la tasa de crecimiento de las especies de mangle.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Más de 0.75 cm/mes	Crecimiento de plántulas iguales o por encima de este valor, indican condiciones estables o relativamente normales para el sitio de estudio. Pequeñas variaciones pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de estos indicadores.
Entre 0.50 a 0.74 cm/mes	Una reducción en las tasas de crecimiento podría deberse a variaciones en las condiciones ambientales, tales como cambios en la temperatura, calidad del agua, factores hidrológicos o cambio climático; las cuales deberán precisarse o bien evaluar a intervenciones antropogénicas, principalmente generadas en la introducción de contaminantes o arrastre de sedimentos.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las variaciones en el aporte de nutrientes, fuentes de contaminación o arrastre de sedimentos al área. Establecer medición de indicadores específicos asociados al cambio climático. Poner especial atención a las variaciones en cada especie considerando factores ambientales que afectan de manera desigual a cada especie.
Menos de 0.50 cm/mes	Crecimientos inferiores indicarían una afectación seria en la estabilidad del ecosistema, con alta probabilidad de afectación antrópica o generado por efectos de cambio climático.	Deberán precisarse los monitoreos y eventualmente incrementar su frecuencia, con el fin de detectar cambios en períodos cortos o estacionales, poniendo especial atención a causas antrópicas. Además la incorporación de mediciones asociadas al clima, fuentes específicas de contaminación, disponibilidad de nutrientes.



## INDICADOR 10 Tipos de Suelo

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> estructura.
<b>OBJETIVO:</b> : determinar la estabilidad y variaciones de los tipos de suelo de manglar.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> cada dos años o cuando ocurrieren eventos naturales que hagan presuponer modificaciones radicales en la estructura o composición del suelo.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> un muestreo en cada parcela de monitoreo. Para las áreas aledañas a los manglares, deberá definirse previamente transectos perpendiculares estratégicamente ubicados en los contornos, según distancia de las áreas núcleo.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7 am a 4 pm, durante los períodos de marea baja.	<b>ESPACIALIDAD:</b> manglares estratégicamente ubicados a lo largo del litoral, con representatividad en Pacífico norte, central y sur.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en el análisis de tipos de suelo a partir de observaciones cualitativas.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> barreno tipo Edelman de 120 cm de largo, o barreno para muestreo de arcilla húmeda y turba, bolsas debidamente etiquetadas, cinta métrica de 5 m, tabla Munsell.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b> Caracterización del suelo específico para cada sitio.	

### Aspectos relevantes.

La caracterización y seguimiento de las variaciones de suelo de las áreas de manglar, constituye un factor relevante en la determinación de las condiciones ambientales del ecosistema. De acuerdo con los alcances del monitoreo permanente, este parámetro debe facilitar el análisis que permita visualizar transformaciones locales, espaciales, estacionales o permanentes, inducidas por afectaciones generadas en la actividad humana o fenómenos globales como el cambio climático, incluyendo variaciones producidas en cambios del nivel del mar.

Estos dos componentes implican por una parte la caracterización de suelos de manglar en sus áreas núcleo, con lo cual se estaría incorporando información complementaria con otros indicadores estructurales antes señalados y que interpretados de manera conjunta facilitan la evaluación actualizada del ecosistema.

Pero también, la evaluación sistemática de los manglares con enfoque de monitoreo implica, según se señaló en los indicadores correspondientes, la necesidad de caracterizar y monitorear las áreas aledañas y contornos de las zonas núcleo, dado el grado de afectación a los que han sido sometidos los bordes de los manglares. De esta manera, la determinación periódica de indicadores como cobertura, regeneración, áreas de amortiguamiento y vegetación marginal están directamente asociados con las características edáficas de estos territorios, pero también por los efectos generados en cambios de uso del suelo, producto de la afectación antrópica fundamentalmente. En ese sentido, el monitoreo periódico de estos espacios aportará información adicional para ser analizada junto con los indicadores antes señalados.

Por otra parte, de acuerdo con los criterios estandarizados que definen un ambiente natural bajo condiciones de humedal y que están dados por la presencia de suelos hidromórficos, vegetación dependiente de ambientes acuáticos (hidrófila) y presencia estacional o permanente de agua (Ramsar, 2013), es claro que el suelo constituye un elemento altamente condicionante del desarrollo y estabilidad del manglar, pero es también un condicionante ambiental relativamente estable del cual no se esperarían cambios significativos en el corto y mediano plazo, salvo efectos catastróficos que modifiquen significativamente las condiciones edáficas del área; por lo tanto no se considera indispensable el monitoreo frecuente de este indicador.

### Descripción Metodológica.

Considerando que se ha generado un esfuerzo institucional relevante en la elaboración de una guía práctica para la caracterización y delimitación de suelos hidromórficos asociados a los ecosistemas de humedal (MINAE, 2017) y que los métodos y técnicas se encuentran establecidos en dicho manual; se recomienda su aplicación en la determinación de este indicador, tomando en cuenta algunas previsiones, especialmente en la determinación y toma de muestras de suelo de las áreas de transición y contornos de los manglares:

- Seguir los procedimientos establecidos en relación con los métodos y técnicas aplicables, específicamente en cuanto a la revisión de base cartográfica y trabajo previo de gabinete para la redefinición de los límites de suelos del humedal.
- En este último aspecto, deberá ponerse especial cuidado en la determinación precisa de los límites, considerando las particularidades de los manglares y agregando observaciones de campo que deberán incluir presencia y distribución de flora marginal típica de ambientes salinos, fauna asociada, presencia de salitrales, coloración de la vegetación, marcas y afectación por mareas; así como distorsiones generadas por cambio de uso de suelo, pero en las que prevalece su condición de humedal.
- Deberá tomarse en cuenta y preverse que el suelo del manglar, particularmente en sus contornos, pudiere haber estado sometido a grados de alteración previos, de manera que la interpretación inicial del monitoreo deberá relativizar y ajustarse en evaluaciones subsiguientes, y a partir de esta determinar grados de alteración posteriores.
- Para cada sitio monitoreado, deberán describirse las características particulares del tipo de suelo, como se señaló en la Guía práctica para la Caracterización y Delimitación de Suelos Hidromórficos Asociados a los Ecosistemas de Humedal

(MINAE, 2017) y a partir de esta caracterización detectar variaciones específicas de cada sitio, las cuales también deberán estar vinculadas con los otros indicadores señalados en este protocolo. Como complemento o paso previo a un análisis de suelos más exhaustivos según se considere, se recomienda la evaluación previa, pero sistemática y de alcance cualitativo mediante la utilización de la tabla Munsell en sitios estratégicos y expuestos a eventuales alteraciones, tanto fuera como dentro del manglar.

Con base en las consideraciones anteriores, deberán precisarse variaciones positivas o negativas según corresponda, interpretarlas de manera integral junto con los demás indicadores y plantear medidas correctivas y de manejo cuando proceda.

## ATRIBUTO CLAVE: Composición

### INDICADOR 11 Presencia de Flora Nuclear

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** condición.

**ATRIBUTO CLAVE:** composición.

**OBJETIVO:** : determinar las especies de flora nuclear presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** de 8 a 12 parcelas distribuidas en el área de interés.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.

**ESPACIALIDAD:** de acuerdo con la homogeneidad y heterogeneidad de la composición florística del manglar.

**PERSONAL REQUERIDO:** de 2 a 4 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en identificación de categorías de vegetación nuclear del manglar.

**EQUIPO REQUERIDO:** Hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS."

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo en cada manglar monitoreado.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

0-10 %	% de reducción del número de especies contabilizadas.
11-30 %	
más de 31 %	

## **INDICADOR 12 Presencia de Flora Marginal y Marginal Facultativa**

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> composición.
<b>OBJETIVO:</b> : determinar las especies de flora marginal y marginal facultativa presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> transectos cercanos a las parcelas establecidas en el borde interno del manglar.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> borde interno del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de categorías de vegetación marginal y marginal facultativa del manglar.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0-10 % 11-30 % más de 31 %	% de reducción del número de especies contabilizadas

## Aspectos Relevantes

### Composición de Flora Nuclear.

También llamadas halófitas forzadas, se encuentran en la zona intermareal debido a su dependencia de las influencias salinas. Presentan adaptaciones especiales tales como raíces aéreas o neumatóforos, alta tolerancia a la sal, viviparidad, succulencia, excreción de sal mediante glándulas especiales y capacidad de soportar la inmersión por mareas, lo que les permite desarrollarse en el sustrato del manglar (Jiménez & Soto, 1985; Hogarth, 2015). Debido a las adaptaciones que cada especie de flora nuclear presenta, es vital conocer su composición ya que dará un indicio de los parámetros fisicoquímicos del sitio, así como de las especies de fauna que podrían encontrarse asociadas a ellas. Además, se requiere conocer su composición para poder establecer el índice de complejidad que permitirá determinar el grado de asociación, desarrollo y cambios futuros en la estructura del bosque.

### Composición de Flora Marginal y Marginal Facultativa.

Por lo general se encuentran asociadas a los manglares en las playas, zonas pantanosas estacionales de agua dulce, en la franja al lado de la tierra y hábitats marginales del manglar; a diferencia de las especies de flora nuclear, estas no se limitan a la zona litoral. Las características del suelo, clima, relieve, grado de salinidad e intervención antrópica determinan la diversidad y riqueza de las especies de flora marginal y marginal facultativa asociadas al manglar (Jiménez & Soto, 1985; Menéndez & Guzmán, 2006). Las interacciones de los manglares con sus ecosistemas vecinos son las responsables de que puedan asociarse otras especies vegetales a las comunidades de manglares y sus ecotonos. Su ausencia es un indicador innegable de la alteración de las zonas aledañas al manglar.

### Descripción Metodológica.

La flora nuclear se identificará en el momento que se realicen las medidas estructurales de cada parcela. Para la flora marginal y marginal facultativa se establecerán transectos permanentes de 200 m por 50 m cercanos a los establecidos para la colocación de las parcelas de monitoreo en el borde interno del manglar. Identificar en campo la mayor cantidad de especies posibles, en caso de que no se puedan reconocer tomar fotografías o muestras para ser evaluadas en el laboratorio.

**Cuadro 7. Interpretación de la presencia de flora nuclear, marginal y marginal facultativa en los sitios de monitoreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 11-30 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como cambios en la temperatura o calidad del agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando la presencia de flora de manera local y con ello proponer medidas de manejo como control de talas o contaminación.
Pérdida de más del 31 %	La reducción en más de la mitad de la presencia de flora indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la presencia de flora, se deben tomar medidas tales como reforestación o rehabilitación de las fuentes de agua.

## INDICADOR 13 Riqueza de Gasterópodos

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** condición.

**ATRIBUTO CLAVE:** composición.

**OBJETIVO:** : determinar las especies de gasterópodos presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** cuatro cuadrantes de 1m<sup>2</sup> por cada parcela

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas..

**ESPACIALIDAD:** en cada parcela establecida en el manglar.

**PERSONAL REQUERIDO:** de 2 a 4 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en identificación de gasterópodos de los géneros *Littoraria*, *Cerithideopsis* y *Thaisella*.

**EQUIPO REQUERIDO:** hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS, cuadrante de 1 m<sup>2</sup>.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

0-10 %  
11-30 %  
más de 31 %

% de reducción de la densidad (ind/m<sup>2</sup>)  
poblacional de las especies contabilizadas.

### Aspectos Relevantes.

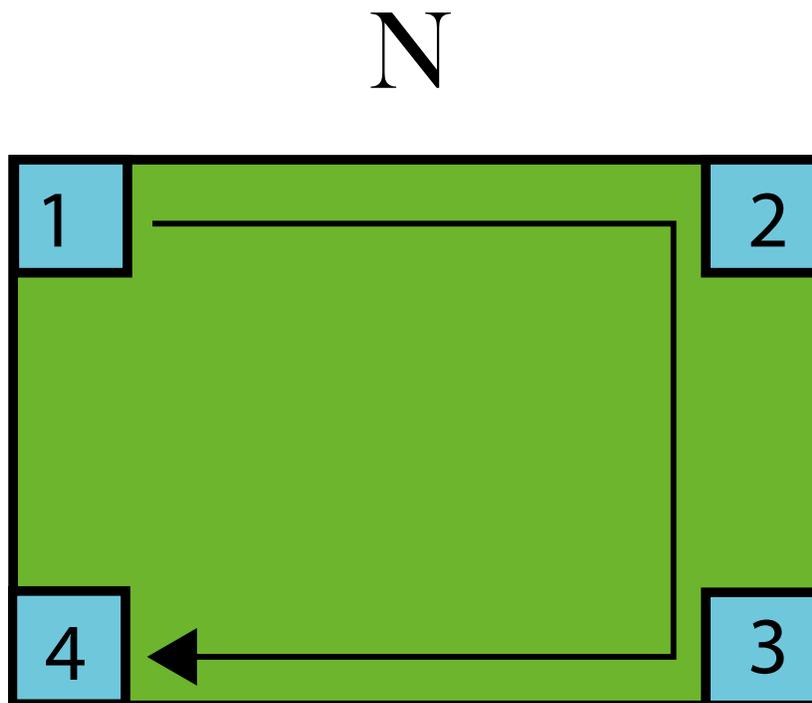
Los moluscos son uno de los grupos de invertebrados dominantes en los manglares, por lo tanto, se les considera un medio importante de traspaso de materia orgánica desde los manglares a los consumidores secundarios como aves y peces. Dentro de los más notables se encuentran los gasterópodos, que incluyen a los herbívoros que se alimentan de algas y hojas caídas; los filtradores y los depredadores. Las especies más comunes en los manglares son las de los géneros *Littoraria* y *Cerithideopsis*, dentro de los depredadores se encuentran los del género *Thaisella* (Hogarth, 2015).

### Descripción Metodológica.

En las parcelas permanentes colocar cuatro cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> por cada parcela de 100 m<sup>2</sup> de vegetación según se indica en la figura 7, registrar la diversidad y abundancia de todas las especies de gasterópodos de los géneros *Littoraria*, *Cerithidea* y *Thaisella* encontrados en ellos, tanto en el suelo como en raíces y troncos (Ashton *et al.* 2003;

Irma & Sofyatuddin, 2012). La identificación en campo se puede realizar con la guía de Cruz & Jiménez (1994), en caso de que las especies no puedan ser reconocidas en el sitio deben tomarse muestras para ser evaluadas en el laboratorio mediante dicha guía.

*Figura 7. Ubicación de los cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> en cada parcela establecida en el manglar. Las subparcelas 1 y 2 deben quedar en la cara norte de la parcela, y en dirección de las manecillas del reloj se ubican la 3 y 4*



**Cuadro 8. Interpretación de la pérdida de la densidad de gasterópodos en los sitios de monitoreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 11-30 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como cambios en la temperatura o calidad del agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de gasterópodos de manera local y con ello proponer medidas de manejo como análisis de aguas.
Pérdida de más del 31 %	La reducción en más de la mitad de la densidad de gasterópodos indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la densidad, se deben tomar medidas como prohibición de prácticas que contribuyan con la disminución de las poblaciones.



## INDICADOR 14 Riqueza de Madrigueras de Cangrejos

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> composición.
<b>OBJETIVO:</b> determinar la cantidad de madrigueras presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> cuatro cuadrantes de 1 m <sup>2</sup> por cada parcela distribuida en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en marea baja.	<b>ESPACIALIDAD:</b> en cada parcela establecida en el manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación del tipo de madrigueras.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS, cuadrante de 1 m <sup>2</sup> .	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0-10 %	% de reducción del número de madrigueras contabilizadas.
11-30 %	
más de 31 %	

### Aspectos Relevantes.

Mediante la elaboración de las madrigueras los cangrejos de manglar contribuyen con la modificación de estructuras físicas, condiciones de transporte y sustancias químicas; lo que a su vez cambia la disponibilidad de recursos para las comunidades de fauna, microbios y plantas asociadas al manglar (Kristensen, 2008), lo anterior debido a que mediante sus actividades de ingeniería modifican el ciclo de nutrientes, la salinidad, el flujo de agua, la textura del suelo y el movimiento de carbono (Hogarth, 2015). Dado que los manglares poseen suelos lodosos permiten una amplia presencia de cangrejos desempeñando un importante papel funcional en estos ecosistemas, ya que pueden mejorar el intercambio de sal, nutrientes, contaminantes y oxígeno entre los sedimentos y las aguas superficiales (Ferreira *et al.* 2017).

### Descripción Metodológica.

En las parcelas permanentes colocar cuatro cuadrantes de 1 m<sup>2</sup> por cada parcela de 100 m<sup>2</sup> de vegetación según se indica en la figura 7, registrar la cantidad de madrigueras presentes en cada cuadrante (Skov *et al.* 2002, Salgado & McGuinness, 2006) y clasificarlas según el grado de actividad como activas (abiertas y con señales de actividad del ocupante, como huellas de pisadas o barro recientemente removido) e inactivas (la entrada exterior de la madriguera está tapada) (Alemán *et al.* 2014).

**Cuadro 9. Interpretación de la pérdida de la densidad de madrigueras de cangrejos en los sitios de monitoreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 11-30 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como cambios en la temperatura o calidad del agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de cangrejos de manera local y con ello proponer medidas de manejo como control de la contaminación o tala de árboles.
Pérdida de más del 31 %	La reducción en más de la mitad de la cantidad de madrigueras de cangrejos indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la densidad, se deben tomar medidas como rehabilitación de fuentes de agua.



**INDICADOR 15 Presencia de Aves**

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> composición.
<b>OBJETIVO:</b> determinar las especies de aves presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> dos veces al año (épocas de migración).	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 5:00 a.m. a 8:00 a.m., de 3:30 p.m. a 5:30 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> borde interno del manglar y canales navegables.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de aves presentes en los manglares.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, binoculares, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS, bote.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0-10 %	% de reducción del número de especies identificadas.
11-30 %	
más de 31 %	

**Aspectos Relevantes.**

Los sitios inundables expuestos a las mareas son un refugio ideal para la avifauna, es por ello por lo que los manglares representan un ecosistema importante donde algunas especies son migratorias estacionales, otras pasan parte de su tiempo en diferentes etapas de la marea o los utilizan para sus desplazamientos diarios; proporcionando una red de exportación de carbono y una afluencia de nutrientes al manglar. Las aves residentes usan el manglar como sitios de anidación, refugio durante las mareas altas, zonas para alimentarse o una combinación de todas (Hogarts, 2015). Las aves más comunes son las garzas, zancudas, cigüeñas y garcetas. Dentro del grupo de aves de presa están el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el gavilán cangrejero de los manglares (*Buteogallus subtilis*) y el halcón peregrino (*Falco peregrino*). Entre las especies endémicas se encuentran el colibrí de manglar (*Amazilia boucardi*) y el carpintero de Hoffmann (*Melanerpes hoffmannii*). La reinita de manglar (*Setophaga petechia*) es otra especie típica de estos ecosistemas.

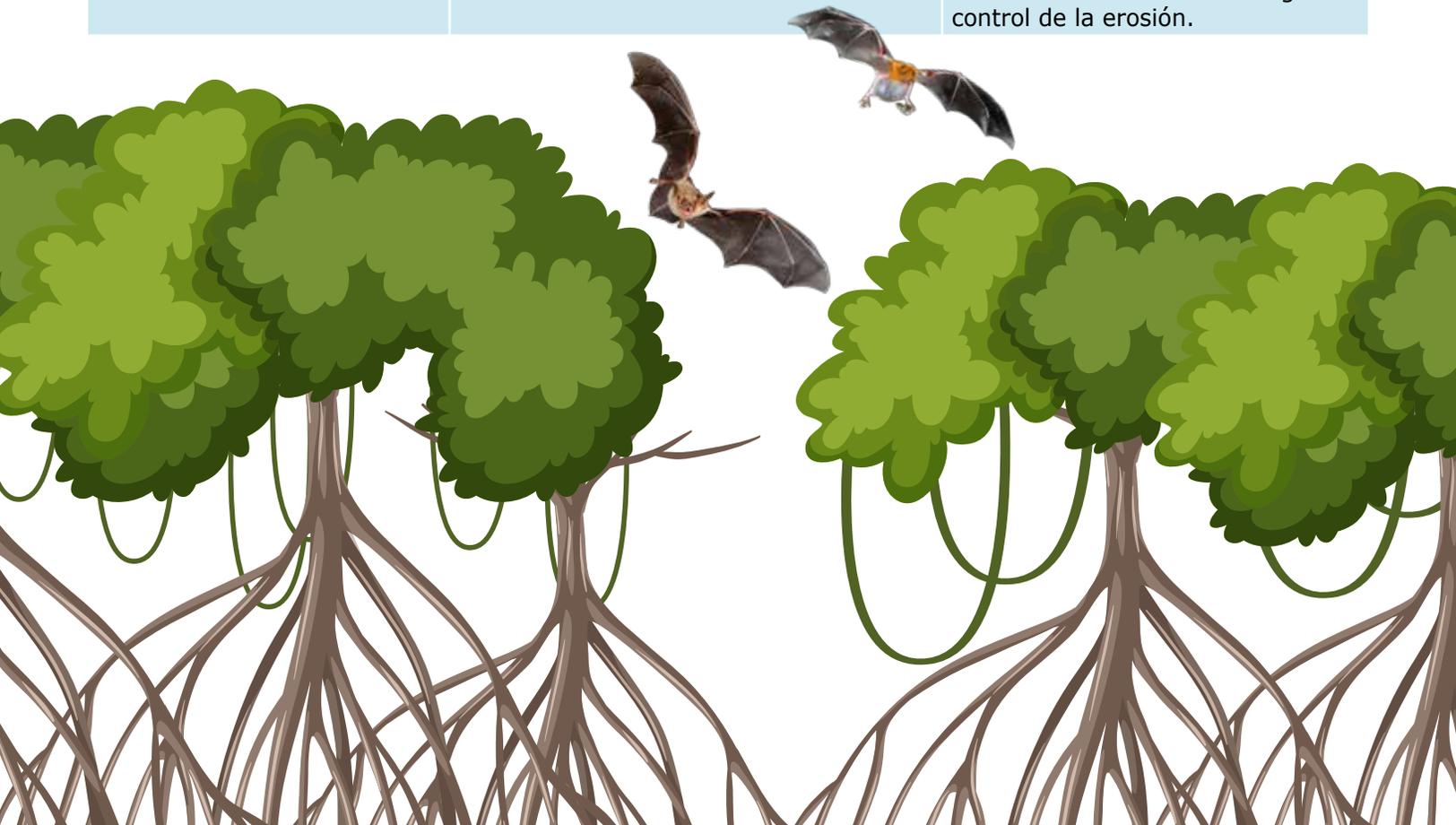
**Descripción Metodológica.**

Realizar recorridos a través de los transectos establecidos para la colocación de las parcelas permanentes, así como en los transectos establecidos para la identificación de la flora marginal, marginal facultativa y canales navegables, con el fin de hacer avis-

tamientos directos o identificación mediante el canto. En caso de que el avistamiento sea directo se debe indicar la actividad realizada, si los animales son vistos cerca de fuentes de agua o especies vegetales en floración o fructificación. La identificación en campo se puede realizar con la guía *The birds of Costa Rica* (2013) de Garrigues & Dean, o con la *Guía de aves de Costa Rica* (2003) de Stiles & Skutch.

**Cuadro 10. Interpretación de la presencia de aves en los sitios de monitoreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 11-30 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como pérdidas de cobertura forestal o alteración en los cuerpos de agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de aves de manera local y con ello proponer medidas de manejo como rehabilitación de las fuentes de agua o reforestación.
Pérdida de más del 31 %	La reducción en más de la mitad de la presencia de aves indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la presencia, se deben tomar medidas como análisis de aguas o control de la erosión.



## INDICADOR 16 Presencia de Mamíferos

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> composición.
<b>OBJETIVO:</b> determinar las especies de mamíferos presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> en relación con las parcelas distribuidas en el manglar
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de mamíferos presentes en el manglar.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de identificación, cámara fotográfica, cámara trampa, GPS, yeso.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0-10 %	% de reducción del número de especies identificadas.
11-30 %	
más de 31 %	

### Aspectos Relevantes.

A nivel mundial se estima que al menos 320 especies de mamíferos hacen uso de los ecosistemas de manglar, en su mayoría uso facultativo con el fin de encontrar alimento, refugio, albergue y sitios de crianza (Rog *et al.* 2017). Como miembros importantes de las cadenas tróficas permiten el intercambio de nutrientes, la dispersión de semillas y polinización de diversas especies vegetales; a pesar de ello, el estudio de estos vertebrados es escaso en los manglares del trópico americano, aun cuando las presiones antropogénicas sobre los ecosistemas adyacentes al manglar son cada vez mayores, lo que les está obligando a desplazarse a este entorno para encontrar refugio debido a la pérdida de su hábitat primario. Algunas de las especies más comunes son los monos cariblanco (*Cebus capucinus*), los monos congo (*Allouata palliata*), los mapaches (*Procyon lotor* y *P. cancrivorus*), los venados (*Odocoileus virginianus*) y los osos hormigueros (*Tamandua mexicana*).

### Descripción Metodológica.

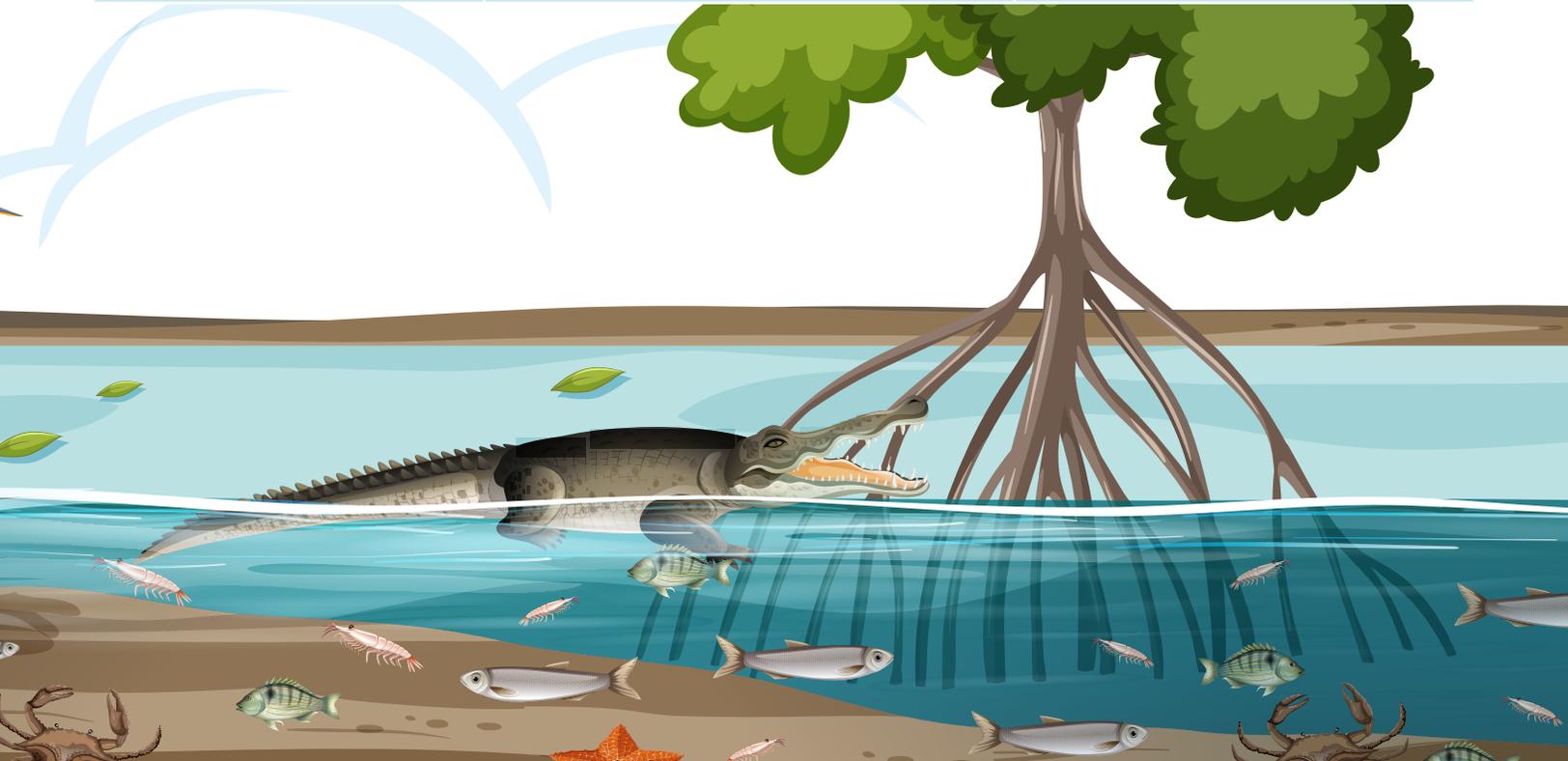
Realizar recorridos a través de los transectos establecidos para la colocación de las parcelas permanentes, así como en los establecidos para la identificación de la flora marginal y marginal facultativa con el fin de hacer avistamientos directos o de rastros



como madrigueras, restos de comida, excretas, marca de uñas en árboles, rascaderos, huesos o huellas. En caso de que el avistamiento sea directo se debe indicar la actividad realizada, si los animales son vistos cerca de fuentes de agua o especies vegetales en floración o fructificación. La identificación en campo se puede realizar con las guías *The Mammals of Costa Rica* (2007) de Mark Wainwright o con la guía de campo de bolsillo *Costa Rica - Mammals and Tracks* de la editorial Rainforest Publications. El uso de cámaras trampa, de estar disponible, es una herramienta importante para registrar información asociada a este indicador.

**Cuadro 11. Interpretación de la presencia de mamíferos en los sitios de muestreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-10 %	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 11-30 %	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como pérdida de cobertura forestal o alteración en los cuerpos de agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de mamíferos de manera local y con ello proponer medidas de manejo como reforestación.
Pérdida de más del 31 %	La reducción en más de la mitad de la presencia de mamíferos indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la presencia, se deben tomar medidas como rehabilitación de las fuentes de agua o mayor control de la caza furtiva.



## ATRIBUTO CLAVE: Impactos Antropogénicos

### INDICADOR 17 Frecuencia de Desechos Sólidos

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> condición.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> impactos antropogénicos.
<b>OBJETIVO:</b> determinar la abundancia de desechos sólidos en los manglares como evidencia del estado de salud del ecosistema	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> una vez al año durante los muestreos en las parcelas.	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> en relación con las parcelas distribuidas en el manglar y en los transectos cercanos a las parcelas establecidas en el borde interno del manglar.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en la recolección y clasificación de residuos sólidos.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, guía de categorización, bolsas para la recolección de desechos, guantes.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0	Número de objetos
1-10	
Más de 10	

#### Aspectos Relevantes.

La zonas costeras, y particularmente los ecosistemas de manglar; están expuestos a las afectaciones antropogénicas y por tanto a la falta de conciencia ambiental en el manejo de los desechos sólidos. El crecimiento urbano ha causado un aumento desmedido en la generación de desechos sólidos y la falta de gestión municipal, en algunos casos, hace que los pobladores cercanos a los manglares depositen sus desechos en estas zonas o simplemente las acumulaciones que se dan en las calles de los pueblos aledaños son arrastrados por la escorrentía en época lluviosa, llevándolos hasta las áreas marino-costeras.

Asimismo, se ha determinado que los manglares podrían estar funcionando como trampas para la basura, de manera que es probable que atrapen la basura continental antes de que llegue al medio marino o si la basura proviene del medio marino y llega a la playa es difícil que regrese de nuevo al mar cuando existe presencia de un bosque

de manglar (Martín *et al.* 2019). La acumulación de desechos sólidos en los manglares puede alterar el desarrollo normal de las plántulas y el establecimiento de propágulos, generar olores desagradables, aumentar las sustancias contaminantes en el agua, disminuir la disponibilidad de hábitats para la fauna, afectar la belleza paisajística, modificar la estructura física del suelo, entre otros (Garcés-Ordóñez & Bayona-Arenas, 2019); además de incrementar la presencia de microplásticos a lo largo del tiempo (Garcés-Ordóñez *et al.* 2019), ya que el plástico suele ser el desecho con mayor presencia en los manglares (Viera *et al.* 2013; Garcés-Ordóñez *et al.* 2019).

### Descripción Metodológica.

Realizar recorridos en las parcelas permanentes, así como en los transectos establecidos para la identificación de la flora marginal y marginal facultativa con el fin de hacer la recolección, cuantificación e identificación de los desechos sólidos presentes.

En caso de que la cantidad de desechos sólidos sea abundante se debe realizar el conteo y recolección en un área que represente un 25% del total de la parcela, es decir en un cuadrante de 5 x 5 m.

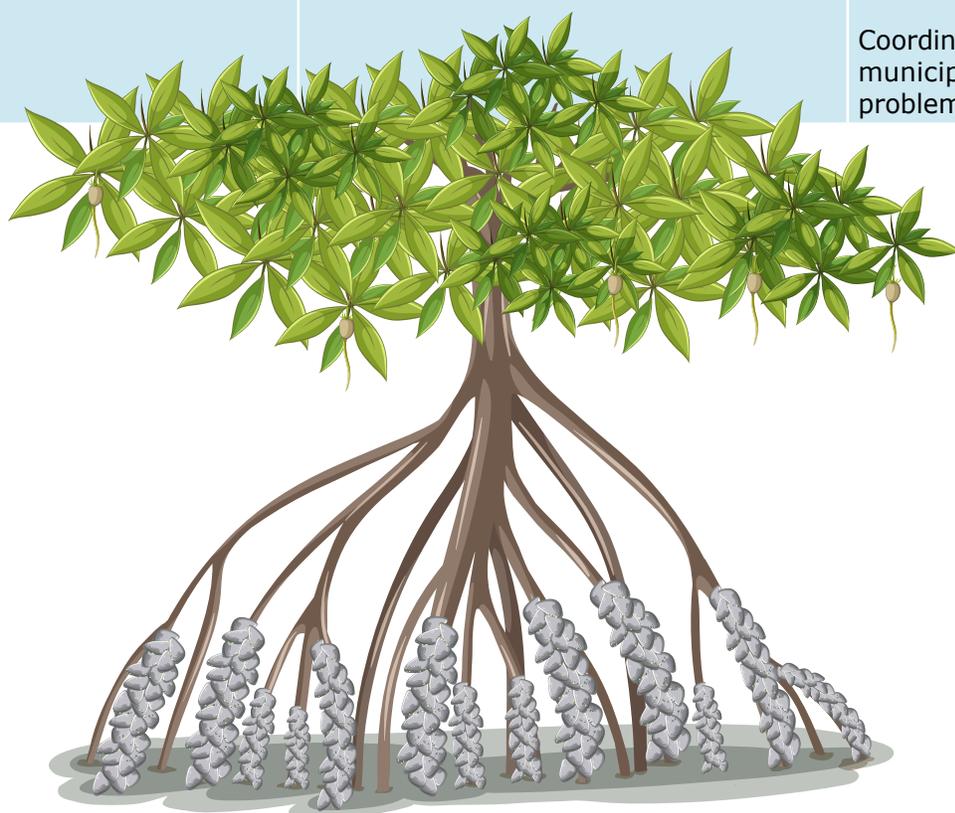
La clasificación de los desechos se realizará según los siguientes criterios:

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS
<b>Plásticos asociados a pesca.</b>	Boyas plásticas, líneas de monofilamento, líneas de multifilamento, redes plásticas, señuelos artificiales, otros.
<b>Plásticos asociados a productos de consumo.</b>	Botellas, empaques de alimentos plásticos, pajillas, utensilios de alimentos de un solo uso, cigarrillos, otros.
<b>Plásticos asociados al uso cotidiano.</b>	Bolsas plásticas, encendedores, empaques de estereofón, cajas plásticas, recipientes plásticos, juguetes plásticos, otros.
<b>Plástico particulado.</b>	Piezas plásticas, fragmentos plásticos de objetos no identificables, trozos de estereofón.
<b>Caucho.</b>	Botas, llantas, globos, balones, calzado, otros.
<b>Tela.</b>	Ropa, sabanas, otros.
<b>Papel y cartón.</b>	Bolsas de cartón, paquetes de cigarrillos, revistas, hojas de cartón, entre otros.
<b>Madera.</b>	Cajas, cajas de pescado, madera procesada (menor a 0.5 metros), otros.
<b>Metal.</b>	Botellas, aerosoles, latas de bebidas, latas de comida, otros.
<b>Vidrio.</b>	Bombillos, botellas, otros.
<b>Cerámica.</b>	Macetas, tejas, vajillas, otros.

<b>Implementos sanitarios y médicos.</b>	Condomes, aplicadores, tampones, toallas femeninas, jeringas y artículos médicos, entre otros.
<b>Aparatos electrónicos.</b>	Microondas, televisores, hornos, cocinas, computadoras, otros.

**Cuadro 12. Interpretación de la frecuencia de residuos sólidos presentes en el manglar.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Sin presencia de residuos.	No hay presencia de residuos sólidos.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
1 -10 objetos.	El área presenta alguna afectación por deposición o arrastre de residuos sólidos.	Determinar el posible origen de los residuos y organizar campañas de limpieza con vecinos y otros voluntarios.
Más de 10 objetos	El área presenta una importante afectación por deposición o arrastres de residuos sólidos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales como lluvias fuertes, escorrentía por parte de ríos o deposición por la marea.  Coordinar acciones conjuntas con la municipalidad para la atención del problema.



## INDICADOR 18 Presencia de Hidrocarburos

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** condición.

**ATRIBUTO CLAVE:** impactos antropogénicos.

**OBJETIVO:** determinar la presencia de hidrocarburos provenientes de la actividad antrópica en los manglares mediante Mezcla Compleja No Resuelta (MCNR) como evidencia del estado de salud del ecosistema

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año durante los muestreos en las parcelas.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** de 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m. y en función del régimen de mareas.

**ESPACIALIDAD:** en relación con las parcelas distribuidas en el manglar.

**PERSONAL REQUERIDO:** de 2 a 4 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en la recolección de muestras de sedimentos.

**EQUIPO REQUERIDO:** hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, bolsas para la recolección de sedimentos, sacastigios de PVC, guantes.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Presencia de Mezcla Compleja No Resuelta (MCNR) es indicativo de contaminación antropogénica.

### Aspectos Relevantes.

En ambientes naturales como lo es el medio marino se pueden encontrar gran variedad de compuestos de origen natural tales como los oligoelementos, los nutrientes derivados del nitrógeno y del fósforo, los hidrocarburos sintetizados por animales y plantas o producto de yacimientos naturales de petróleo (Botello, 1998). También, podemos encontrar componentes de origen antropogénico que incluyen una amplia variedad de compuestos sintetizados por el hombre, como lo son los plásticos, los detergentes, los productos refinados del petróleo y los hidrocarburos halogenados. Dichos compuestos al no formar parte natural de las aguas ni de los sedimentos, su presencia es señal de contaminación. Pese a que la procedencia del petróleo crudo es de origen natural, su presencia en el medio ambiente es considerado de origen antropogénico, pues es incorporado al ambiente debido a actividades económicas como la explotación petrolera y los derrames.

Los compuestos derivados de los hidrocarburos pueden afectar las comunidades planctónicas y bentónicas, así como a los organismos de mayor tamaño como los peces y los mamíferos, incluidos los humanos, a través de la cadena alimentaria por la biomagnificación o la bioacumulación de estas sustancias tóxicas, siendo importante su estudio (Tavakoly *et al.* 2014).

### Descripción Metodológica.

Para la recolección de las muestras de sedimento en la zona intermareal se podrán utilizar sacatestigos de PVC de aproximadamente 4.50 cm de diámetro y 14.50 cm de largo, los cuales deberán contar en su interior con una bolsa plástica para cubrirlo. Los sacatestigos deberán ser introducidos verticalmente en el sedimento para la recolección de las submuestras (al menos 10), siguiendo la metodología descrita por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (1982). Luego las submuestras se congelan y después de deshelas pueden cortarse con un cuchillo en las longitudes deseadas para formar la muestra compuesta de cada parcela.

**Cuadro 13. Interpretación de la presencia de hidrocarburos en el manglar.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Sin presencia MCNR.	No hay presencia de contaminación de hidrocarburos por influencia antropogénica.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Presencia MCNR.	Presencia de contaminación de hidrocarburos por influencia antropogénica.	Identificar el origen de la contaminación.  Elaborar medidas básicas para el manejo de las embarcaciones y estaciones de servicio en las zonas aledañas al manglar.  Identificar sitios de almacenaje ilegal de hidrocarburos en las zonas aledañas al manglar y realizar las denuncias respectivas.



## ATRIBUTO CLAVE: Conectividad

### INDICADOR 19 Conectividad Estructural

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** ecosistema de manglar.

**CATEGORÍA:** contexto paisajístico.

**ATRIBUTO CLAVE:** : conectividad.

**OBJETIVO:** determinar el nivel de fragmentación en el ecosistema de manglar.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** procesamiento de imágenes de Sentinel-2 en GEE y reconocimiento de campo con GPS.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m..

**ESPACIALIDAD:** toda el área de manglar

**PERSONAL REQUERIDO:** 2 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en el manejo de sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite y uso de GPS.

**EQUIPO REQUERIDO:** computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de imágenes, GPS.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar como línea base el área que abarca la flora nuclear y asociada al manglar a partir del primer año de muestreo.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Sin cambio

2 fragmentos nuevos

Más de dos fragmentos nuevos

Número de fragmentos

### Aspectos Relevantes.

La deforestación directa por cambios en la expansión de la frontera agrícola, el urbanismo o indirecta por procesos naturales, implica la fragmentación del ecosistema de manglar afectando el paisaje desde la perspectiva dinámica del ecosistema, limitando la conectividad entre las zonas de manglar, lo cual lleva a modificaciones en la estructura de la comunidad (Romero *et al.* 2015).

Los cambios del patrón del paisaje, derivados de la deforestación generan pérdida o destrucción total del hábitat, reducción del hábitat y aislamiento de los fragmentos de hábitat (Bennett, 2003), por lo tanto, se deben cuantificar las métricas del paisaje para valorar la fragmentación y sus consecuencias.

### Descripción Metodológica.

A partir de la cobertura del ecosistema de manglar, calculadas con las imágenes de satélite de Sentinel, se podrán identificar los diversos fragmentos que componen el

manglar. Adicionalmente se identificarán formas y tamaños de parches, distribución y el efecto de borde. Mediante software de sistemas de información geográfica, Qgis y el complemento LecoS (Jung, 2016).

Se deben cuantificar de manera adicional, otras métricas, a saber:

MÉTRICAS	DESCRIPCIÓN
<b>Número de parches.</b>	Cantidad de parches.
<b>Tamaño de parche.</b>	Área que ocupa cada parche (m <sup>2</sup> ).
<b>Índice de forma.</b>	Relación área-perímetro. Valores cercanos a 1 son formas regulares mientras que valores superiores son parches irregulares.
<b>Dimensión fractal.</b>	Índice de complejidad de la forma del parche. Valores cercanos a uno denotan regularidad y cercanos a 2 son formas más complejas.

**Cuadro 14. Interpretación de la cantidad de fragmentos presentes en el manglar.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Sin cambio.	No se detectan nuevos fragmentos.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
2 fragmentos nuevos.	La generación de nuevos fragmentos indica algún nivel de perturbación la cual puede ser natural o antropogénica.	Determinar el origen del evento que dio como resultado la generación de nuevos fragmentos.  Preparar una denuncia en caso de un origen antropogénico.  Analizar imágenes previas a la analizada con el fin de tener una aproximación de cuando se inició la perturbación.
Más de 2 fragmentos.	Más de dos fragmentos es una afectación grave con implicación importante en la estabilidad del manglar.	Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables.  Analizar imágenes previas a la analizada con el fin de tener una aproximación de cuando se inició la perturbación.

## INDICADOR 20 Conectividad Hidrológica

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** contexto paisajístico.

**ATRIBUTO CLAVE:** : conectividad.

**OBJETIVO:** determinar la conectividad hidrológica a partir del monitoreo de las redes de drenaje continental que alimenta al ecosistema de manglar e identificación de barreras que impidan la circulación de aguas marinas.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año.

**ESFUERZO DE MONITOREO:** descarga de imágenes de satélite que representen la época seca y reconocimiento de campo con GPS.

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7:00 a.m. a 4:00 p.m..

**ESPACIALIDAD:** la cuenca hidrológica donde se ubica el manglar y la formación de barreras de arena.

**PERSONAL REQUERIDO:** 2 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en el manejo de sistemas de información geográfica, procesamiento de imágenes de satélite y manejo de GPS y de la plataforma de Google Earth Engine"

**EQUIPO REQUERIDO:** computadora, internet, disco duro portátil para el almacenamiento de imágenes, GPS.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo identificando los cauces que aportan agua dulce al manglar."

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Sin cambio

2 cauces nuevos o desaparecidos

Más de 2 cauces con alguna modificación.

Número de cauces que han sufrido cambios

### Aspectos Relevantes.

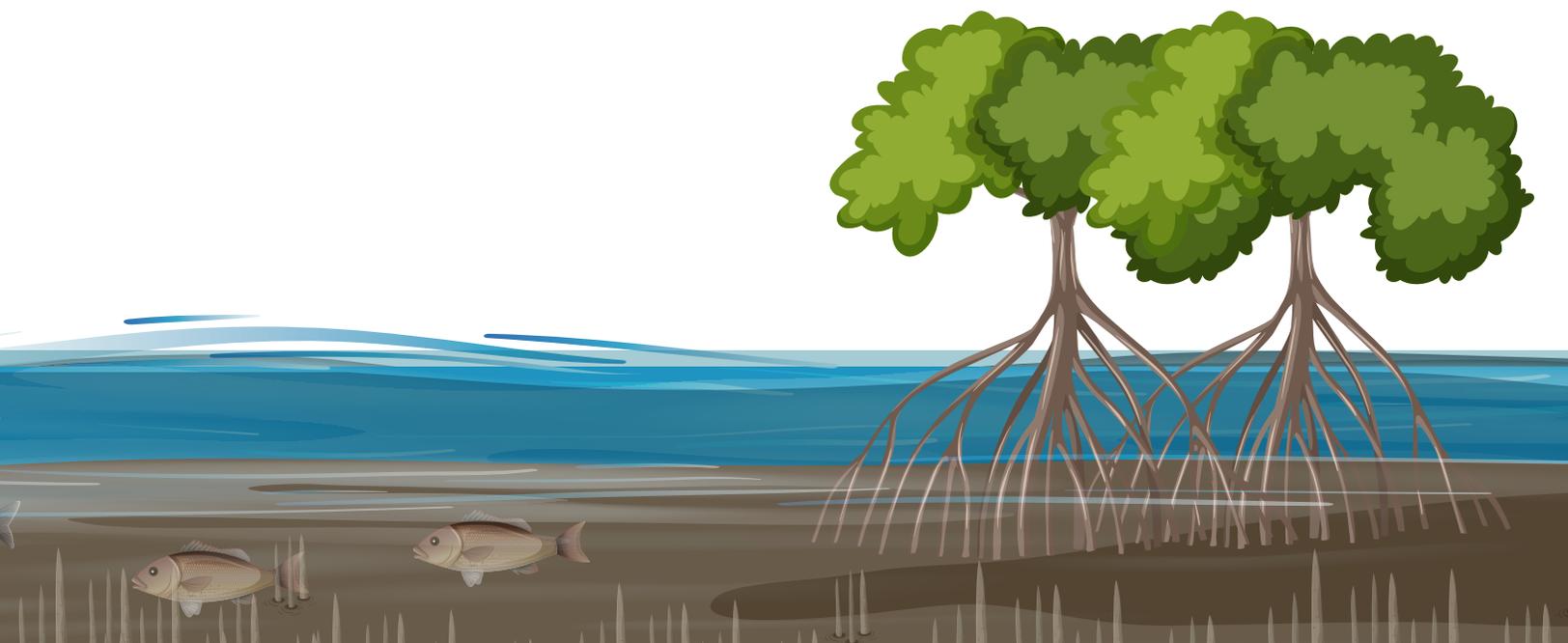
Dada la condición estuarina de los ecosistemas de manglar, los aportes de aguas continentales juegan un papel fundamental en su equilibrio y buen estado de salud. Debido a la fuerte demanda de agua dulce para uso humano, los cauces de los ríos han sido modificados reduciendo los aportes de agua dulce al sistema. Por otro lado, las modificaciones a los terrenos aledaños pueden reducir la circulación del agua de mar durante los periodos de marea alta, reduciendo así su flujo con los consecuentes aumentos de salinidad en el suelo, acumulación de nutrientes y reducción del flujo genético y su exportación (Echeverría *et al.* 2019).

### Descripción metodológica.

Las imágenes de Sentinel-1 permiten obtener información independiente de las condiciones ambientales, por lo tanto, son ideales para detectar cambios en la hidrología durante la época lluviosa. Adicionalmente, estas imágenes se procesan y se obtienen resoluciones de 5 m. El procesamiento se realizará a través de la plataforma Google Earth Engine, mediante códigos que permitirán agilizar la obtención de la información.

**Cuadro 15. Interpretación de la cantidad de cauces nuevos o desaparecidos en el manglar.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Sin cambio.	No se detectan nuevos cauces.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
2 cauces nuevos o desaparecidos.	La generación de nuevos cauces o la desaparición, indica algún nivel de perturbación la cual puede ser natural o antropogénica.	Determinar el origen del evento que dio como resultado la formación de los nuevos cauces o su desaparición.  Preparar una denuncia en caso de un origen antropogénico.  Analizar imágenes previas a la analizada con el fin de tener una aproximación de cuando se inició la perturbación.
Más de 2 cauces.	Más de dos cauces nuevos o que desaparezcan es una afectación grave con implicación relevante en la estabilidad del manglar, ya que genera cambios importantes en la dinámica hídrica del manglar.	Iniciar un proceso de denuncia con la previa identificación de los responsables.  Analizar imágenes previas a la analizada con el fin de tener una aproximación de cuando se inició la perturbación.



## INDICADOR 21 Agua Intersticial

**ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:** manglares.

**CATEGORÍA:** contexto paisajístico.

**ATRIBUTO CLAVE:** : conectividad.

**OBJETIVO:** determinar variaciones en la composición de nutrientes del agua intersticial.

**FRECUENCIA DE MONITOREO:** una vez al año

**ESFUERZO DE MONITOREO:** de acuerdo con la cantidad de parcelas

**HORARIO DE MONITOREO:** de 7 a.m. a 4 p.m. y en función del régimen de mareas

**ESPACIALIDAD:** en cada parcela establecida en el manglar.

**PERSONAL REQUERIDO:** de 2 a 4 funcionarios.

**CONOCIMIENTO PREVIO:** capacitación en técnicas e interpretación de análisis químicos de laboratorio.

**EQUIPO REQUERIDO:** multiparámetros, pascón, botellas plásticas de 250 ml, bolsas plásticas, marcador, tabla acrílica, hoja de datos, lápiz, cinta adhesiva.

**ESCALA DE SALUD:** se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.

**ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:**

Caracterización específica para cada sitio.

### Aspectos Relevantes.

El análisis de agua intersticial en profundidades variables de 50-100 cm, es de especial relevancia para conocer las propiedades bioquímicas y microbiológicas de los sustratos, ya que estas condicionan, además de otros factores que también los regulan, la distribución y estado general de las especies de mangle. También es importante porque suministra información acerca del cambio de uso de suelo en los entornos del manglar (Cuadro 14). Este es uno de los indicadores considerados importantes en el proceso de construcción del protocolo, pero conlleva un grado de complejidad y costo económico, de manera que pueda ser aplicado de acuerdo con las posibilidades de los responsables de la implementación del monitoreo o de acuerdo con las evidencias que se deriven de otros indicadores.

**Cuadro 16. Detalle de variaciones en la composición de nutrientes del agua intersticial.**

NUTRIENTE	CONCENTRACIÓN NORMAL*
<b>Fósforo total.</b>	Menos de 0,001 mg l-1 hasta 50 mg l-1
<b>Nitritos.</b>	Entre 0,01 - 2 mg l-1
<b>Nitratos.</b>	Entre 1 - 5 mg l-1
<b>Amonio.</b>	Entre 0,01 - 4 mg l-1

### Descripción Metodológica.

Colocar estaciones de muestreo de agua intersticial en cada parcela de monitoreo (Figura 8, tubos de PVC de 120 cm de largo en 3 pulgadas, con tapa). Estos deberán ser enterrados en el sustrato, en el centro de cada parcela con su respectiva localización. Se debe procurar que el mismo sobresalga de la superficie entre 20 - 40 cm y en zonas más áridas del manglar, donde el agua intersticial se encuentra a mayor profundidad, asegurarse que el fondo del tubo efectivamente alcance este nivel.

Llevar a cabo muestreos específicos cuando las condiciones particulares u otros indicadores; hagan ver la necesidad de realizarlos. También cuando se generan cambios significativos en el entorno del manglar producto de actividades antrópicas como desarrollos turísticos, urbanos, agropecuarios o por el surgimiento de fuentes contaminantes que drenan directa o indirectamente en el ecosistema.

### Procedimiento:

Antes de la extracción de la muestra de agua se deben de tomar y anotar los parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, potencial redox), introduciendo los electrodos del multiparámetros en el tubo. Luego se introducirá en el tubo el pascón procurando no mezclar demasiado el agua. Se llenará una botella por cada parcela de muestreo, cada botella deberá estar identificada, incluyendo número o localización del transecto, de parcela y fecha de muestreo. Dada la dificultad de transportar hielera dentro del manglar, se recomienda su refrigeración inmediata una vez que se salga de este hasta que sean analizadas en el laboratorio. El análisis de las muestras de agua se hará según el manual "A practical handbook of seawater analysis" de Strickland & Parsons (1972).

### Nota:

El cuadro de interpretación de las variaciones en la composición de nutrientes del agua intersticial requiere de una construcción específica para cada manglar, y esto será posible una vez que se tenga información de los nutrientes en al menos dos años (dos épocas secas - dos épocas lluviosas y 4 transiciones), lo que vendría a conformar la línea base (al menos 4 muestreos al año).

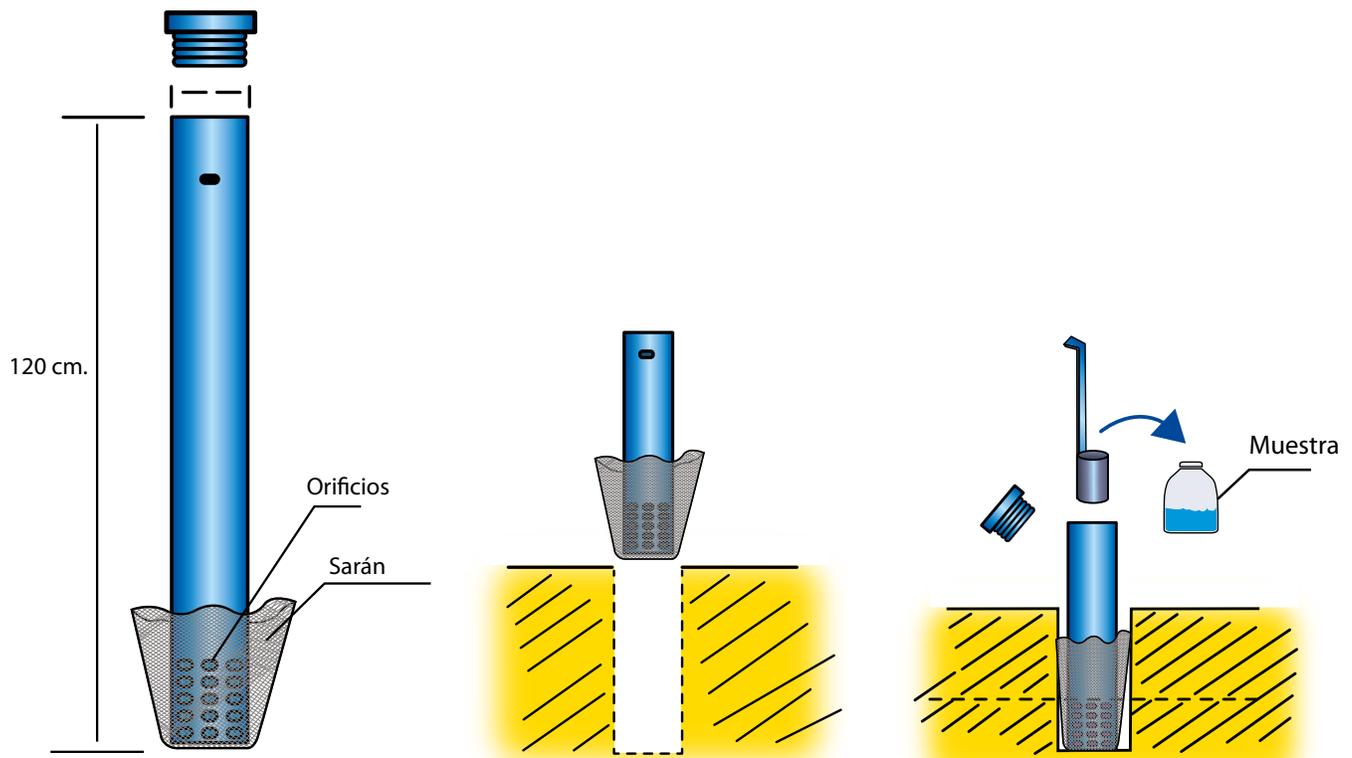


Figura 8. Estación de muestreo de agua intersticial, construido con tubos de PVC, de 3 pulgadas.

**INDICADOR 22 Presencia de Aves Migratorias**

<b>ELEMENTO FOCAL DE MANEJO:</b> manglares.	
<b>CATEGORÍA:</b> contexto paisajístico.	<b>ATRIBUTO CLAVE:</b> : conectividad.
<b>OBJETIVO:</b> determinar las especies de aves migratorias presentes en el manglar como medida de salud del ecosistema.	
<b>FRECUENCIA DE MONITOREO:</b> dos veces al año (épocas de migración).	<b>ESFUERZO DE MONITOREO:</b> de 4 a 6 sitios distribuidos en el área de interés.
<b>HORARIO DE MONITOREO:</b> de 5:00 a.m. a 8:00 a.m., de 3:30 p.m. a 5:30 p.m. y en función del régimen de mareas.	<b>ESPACIALIDAD:</b> borde interno del manglar y canales navegables.
<b>PERSONAL REQUERIDO:</b> de 2 a 4 funcionarios.	<b>CONOCIMIENTO PREVIO:</b> capacitación en identificación de aves migratorias presentes en los manglares.
<b>EQUIPO REQUERIDO:</b> hoja de datos, tabla acrílica, lápiz, binoculares, guía de identificación, cámara fotográfica, GPS, bote.	
<b>ESCALA DE SALUD:</b> se debe determinar la línea base a partir del primer año de muestreo.	
<b>ÁMBITO DE VARIACIÓN PERMISIBLE:</b>	
0-20 %	% de reducción del número de especies identificadas.
21-50 %	
más de 51 %	

**Aspectos Relevantes.**

Los manglares funcionan como sitios de protección, reposo y alimentación para las aves migratorias, las entradas y salidas de estas especies facilitan la exportación de carbono o la entrada de nutrientes al ecosistema (Hogarth, 2015); en vista de la pérdida de los hábitats adyacentes, los manglares han tomado mayor relevancia dado que favorecen el desplazamiento de estas especies. Diversos estudios han determinado que entre un 20 % a un 40 % de las aves presentes en el manglar son migratorias y su composición varía de acuerdo con la época del año (Chaves-Fonnegra *et al.* 2005; Bojorges-Baños, 2011; Pérez & Villalobos, 2017).

**Descripción Metodológica.**

Realizar recorridos a través de los transectos establecidos para la colocación de las parcelas permanentes, así como en los establecidos para la identificación de la flora marginal, marginal facultativa y canales navegables, con el fin de hacer avistamientos directos o identificación mediante el canto. En caso de que el avistamiento sea directo se debe indicar la actividad realizada, si los animales son vistos cerca de fuentes de agua o especies vegetales en floración o fructificación. La identificación en campo se puede realizar con la guía *The birds of Costa Rica* (2013) de Garrigues & Dean, o con la *Guía de aves de Costa Rica* (2003) de Stiles & Skutch.

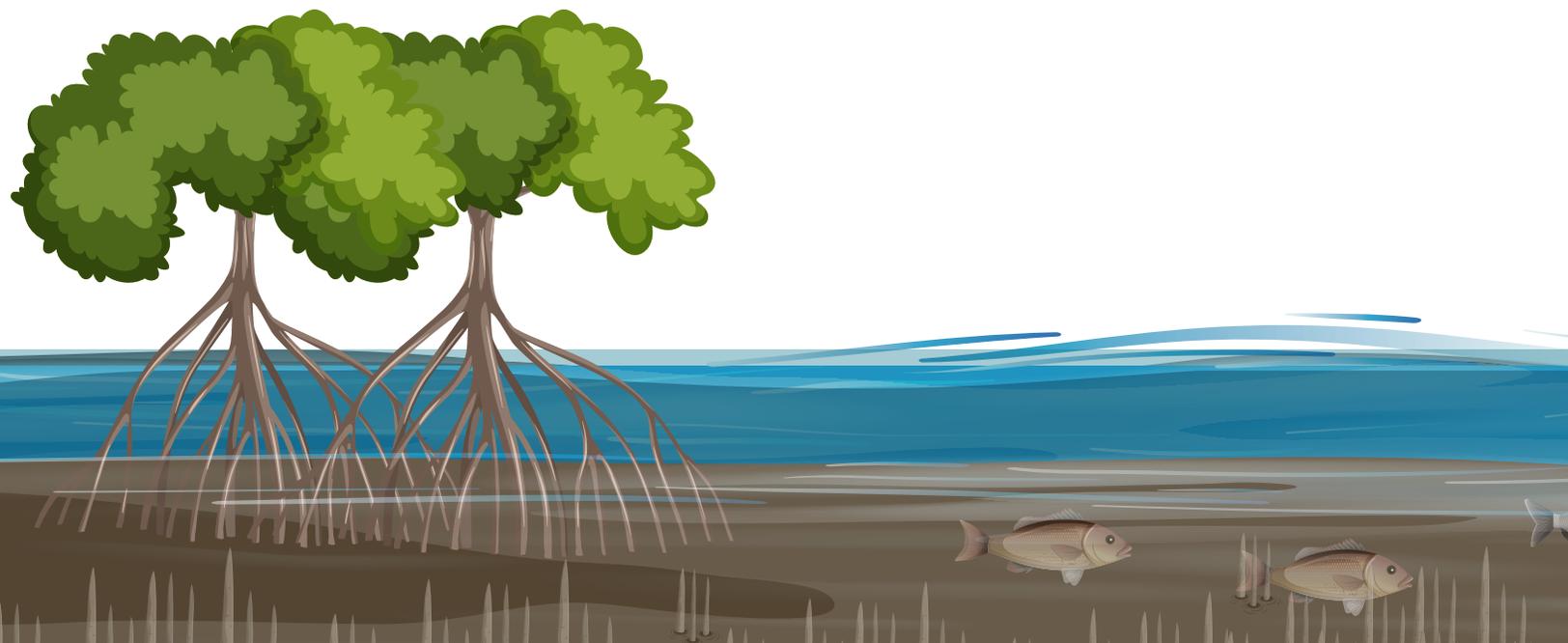
**Cuadro 17. Interpretación de la presencia de aves migratorias en los sitios de monitoreo.**

Variación	Interpretación	Medidas de manejo
Pérdida del 0-20 %.	Variaciones en este rango pueden deberse a cambios estacionales o variaciones entre los observadores.	Continuar con el monitoreo de este indicador.
Pérdida del 21-50 %.	Una reducción de este rango podría deberse a presiones antropogénicas o ambientales, tales como pérdidas de cobertura forestal o alteración en los cuerpos de agua.	Determinar posibles impactos que puedan estar afectando las poblaciones de aves migratorias de manera local y con ello proponer medidas de manejo como rehabilitación de las fuentes de agua o reforestación.
Pérdida de más del 51 %.	La reducción en más de la mitad de la densidad de aves migratorias indica que las poblaciones han sido afectadas drásticamente por factores ambientales o antropogénicos. Esta afectación podría ser estacional, sin embargo, esto será determinado por la continuidad en los monitoreos.	Realizar monitoreos continuos, de ser posible mensuales, que determinen si esta afectación es constante y no se debe a variaciones estacionales. Una vez confirmada la reducción en la presencia, se deben tomar medidas como análisis de aguas o control de la erosión.

*La línea base se determinará a partir del primer año, y con base a ello se verificará el comportamiento de las abundancias a través del tiempo de acuerdo con los rangos de variación permisible.*

**NOTA:**

*Este criterio no aplica para las especies invasoras, ya que un aumento en su densidad siempre debe considerarse en un rango de variación permisible rojo.*



## INDICADOR ADICIONAL 23: Fijación de Carbono

### Aspectos Relevantes.

Se ha considerado la pertinencia de establecer un sistema de seguimiento complementario para llevar a cabo estimaciones de fijación de carbono en cada sitio de monitoreo. Es claro, en el momento actual, la relevancia que han cobrado los manglares en esta temática, de manera que se considera pertinente aplicar un indicador adicional para conocer de forma aproximada la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas de manglar.

Costa Rica ha venido realizando acciones importantes en el campo de la adaptación y mitigación al cambio climático, siendo los ecosistemas de manglar un elemento focal de manejo primordial para el país, ya que, por su alta productividad y acumulación de biomasa son grandes fijadores de carbono, de manera que esta particularidad los hace ser un ecosistema fundamental que debe ser incluido en las estrategias de adaptación y mitigación que sean desarrolladas para las zonas marino-costeras.

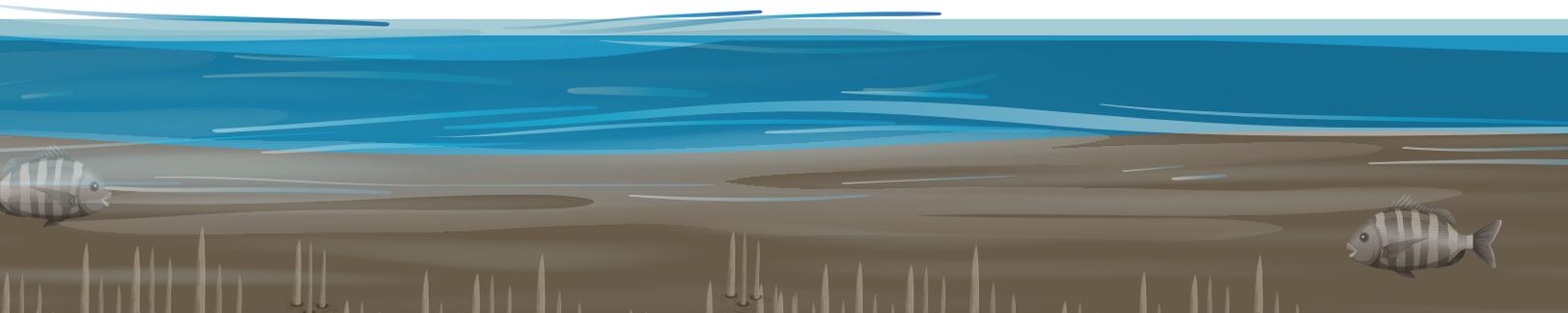
Se propone aprovechar la infraestructura instalada en las estaciones de monitoreo, adicionando sitios que por sus características particulares (extensión, entre otras) ameriten un tratamiento diferenciado en la medición de los parámetros de este indicador. De esta manera se procura mayor versatilidad y menor complejidad en el proceso de implementación del Protocolo de Monitoreo Ecológico de Manglares, a partir de los indicadores aquí establecidos.

### Descripción Metodológica.

Considerando que se ha generado un esfuerzo institucional relevante en la elaboración específica de un "Protocolo para el monitoreo de gases de efecto invernadero asociado a la acumulación neta de sedimentos en manglares" (SINAC, 2022) y que los métodos y técnicas se encuentran establecidos en dicho protocolo, se recomienda su aplicación en la determinación de este indicador. Ver detalles metodológicos en Anexo 1.

## Observaciones Finales

En el anexo 2 se muestran las hojas de campo que guían el registro de los datos que corresponden a la información que se debe registrar de cada parcela a monitorear.



## Glosario

---

### A

#### *Agua intersticial*

Agua retenida en los espacios situados entre las partículas sólidas del suelo.

#### *Área basal*

Espacio ocupado en un área determinada de tierra por la sección transversal del fuste de un árbol.

#### *Aves migratorias*

Son las aves que realizan desplazamientos estacionales de forma altitudinal (a diferentes elevaciones en las montañas), o latitudinales (migraciones estacionales de norte-sur), con el fin de abastecerse de alimentos o encontrar mejores condiciones para la reproducción y cría.

### D

#### *DAP*

Diámetro a la altura del pecho. Punto de referencia para medir el diámetro de un árbol, cuya altura estándar corresponde a 1.30 m.

### E

#### *Ecosistema de manglar:*

Humedal costero conformado por las especies de flora nuclear típicas de este ecosistema (*Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *A. bicolor* y *Conocarpus erectus*), así como la flora asociada indicada en el anexo 1 del Decreto N° 35803-MINAET

### F

#### *Flora marginal*

Especies vegetales que crecen normalmente al margen de las especies nucleares, presentan algunos de los rasgos característicos de la vegetación nuclear como dispersión hidrocórica, lenticelas, entre otras.

#### *Flora marginal facultativa*

Especies vegetales que no suelen encontrarse con frecuencia en el manglar a menos que el área haya sido perturbada o presente condiciones constantes de bajas salinidades, ya que no poseen los rasgos característicos de la vegetación nuclear para tolerar este ambiente.

### *Flora nuclear*

También llamada vegetación nuclear, corresponde a las especies típicamente conocidas como manglar, directamente dependientes de la influencia del agua de mar, por lo que suele presentar viviparismo, glándulas excretoras de sal, raíces adventicias, tolerancia a altos niveles de salinidad, entre otras.

## G

### *Gasterópodos*

Conocidos comúnmente como caracoles y babosas. Son la clase más amplia del filo de los moluscos.

### *Google Earth Engine*

En una combinación de imágenes satelitales y conjuntos de datos geospaciales con capacidades de análisis a escala planetaria para detectar cambios, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra.

### *Gradiente estructural*

Variaciones estructurales de las características del bosque de manglar a lo largo de un transecto.

### *Gradiente fisicoquímico*

Variación horizontal de los parámetros fisicoquímicos a lo largo de un transecto, que normalmente condiciona las características estructurales del bosque a partir de la fuente principal de alimentación de agua.

## S

### *Sentinel-1*

Es un satélite que utiliza técnica de radar de apertura sintética (SAR) en la banda C, el cual es utilizado con frecuencia para la vigilancia del tráfico marítimo, el hielo marino, los derrames de petróleo, los terremotos, los deslizamientos de tierra y para la creación de cartografía.

### *Sentinel-2*

Es un satélite que lleva una innovadora cámara multiespectral de alta resolución, con 13 bandas espectrales que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación.

### *Suelos hidromórficos*

Suelos temporal o permanentemente inundados y en los cuales el agua ocupa todos los poros del suelo, propiciando la presencia de vegetación típicamente adaptada a vivir bajo condiciones de saturación.

## Referencias

---

- Ashton, E., Macontosh, D., & Hogarth, P. (2003). A baseline study of the diversity and community ecology of crab and molluscan macrofauna in the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*. Vol. 19(2), 127-142. Cambridge University Press.
- Benavides-Varela, C., Samper-Villarreal, J., & Cortés, J. (2016). Cambios en la cobertura de manglares en Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (1945-2010). *Revista de Biología Tropical*, 64(3), 955-964.
- Bennett, A. (2003). Linkages in the Landscape. The Role of the Corridor and Connectivity in Wildlife Conservation. 2 ed. Melbourne, AU. UICN. 262 p.
- Bojorges-Baños, J. C. (2011). Riqueza y diversidad de especies de aves asociadas a manglar en tres sistemas lagunares en la región costera de Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(1), 205-215.
- Botello A.V. (1998). "Contaminación de las zonas costeras de México". *Revista de la realidad mexicana actual El Cotidiano* 91, 77-84.
- Brito-Pérez, R., Merino-Ibarra, M. & Vovides A. (2019). Regeneración natural de sitios de manglar degradado en respuesta a la restauración hidrológica. *Madera y Bosques* (25)1, 1-14. doi: 10.21829/myb.2019.2511754
- Chaves-Fonnegra, A., Fiorenzano, M., Pantaleón-Lizarazú, A.M., Rodríguez-Gacha, D.F., Franco-Herrera, A, & López-Victoria, M. (2005). Aves de un manglar en el PNN Tayrona, Caribe colombiano. *Boletín SAo*, 15(1), 3-12.
- Cintrón-Molero. G. & Schaeffer-Novelli, Y. (1984). Methods for studying mangrove structure. En Snedaker S, Snedaker JG (Eds.). *The Mangrove Ecosystem: Research Methods*. UNESCO. París, Francia. pp. 91-113.
- Coan, E & P. Valentich-Scott. (2012). Bivalve seashells of tropical west America. *Marine Bivalve Mollusks: from Baja California to Nothern Perú*. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, USA. Monographs. 6: 1-1258.
- Cruz, R. A & J. A. Jiménez. (1994). Moluscos asociados a las áreas de manglar de la costa Pacífica de América Central. Fundación UNA. Heredia, Costa Rica.
- DeLuca, C., Bonano, M., Casu, F, Fusco, A., Lanari, R., Manunta, M.& Zinno, I. (2016). Automatic and Systematic Sentinel-1 SBAS-DInSAR Processing Chain for Deformation Time-series Generation. *Procedia Computer Science*, 100, 1176–1180. doi:10.1016/ j.procs. 2016.09.275
- Decreto N° 40244-MINAE-PLAN. (2017). Oficializa la Política Nacional de Humedales 2017-2030. Diario Oficial la Gaceta, Costa Rica.

- Decreto N.º 35803-MINAET. (2010). Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales. 07 de enero del 2010. D. O. No. 73. [https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67673&nValor3=88177&strTipM=TCEcheverría-Ávil, S., Pérez-Ceballos, R., Zaldívar-Jiménez, A., Canales-Delgado, J., Gutiérrez, J. L., Jones, C. G., Byers, J. E., Arkema, K. K., Berkenbusch, K., Commito, J. A., Duarte, C.M., Hacker, S.D., Lambrinos, J.G., Hendriks, I.E., Hogarth, P.J., Palomo, M.G. & Wild, C. (2011). Physical Ecosystem Engineers and the Functioning of Estuaries and Coasts. <i>In Treatise on Estuarine and Coastal Science</i>, 7, pp. 54–56.</a></p><p>Ellison, A. M., & Farnsworth, E. J. (1993). Seedling survivorship, growth, and response to disturbance in Belizean mangal. <i>American Journal of Botany</i>, 80(10), 1137-1145.</p><p>Ellison, A.M. & E.J. Farnsworth. (1996). Spatial and Temporal variability in Growth of <i>Rhizophora mangle</i> Saplings on Coral Cays: Links with variation in insolation, Herbivory, and Local Sedimentation Rate. <i>J. Ecol.</i> 84, 717-731r</p><p>Ferreria, D., Pülmans, N., Nordhaus, I. Diele, K. & Zimmer, M. (2017). The influence of crab burrows on sediment salinity in a <i>Rhizophora</i>-dominated mangrove forest in North Brazil during the dry season. <i>Hydrobiologia</i>, 803, 295-305.</p><p>Garcés-Ordóñez, O. & Bayona-Arenas, M. R. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. <i>Journal of Marine and Coastal Sciences</i>, 145-165.</p><p>Garcés-Ordóñez, O., Castillo-Olaya, V. A., Granados-Briceño, A. F., García, L. M. B., & Espinosa, L. F. (2019). Marine litter and microplastic pollution on mangrove soils of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. <i>Marine pollution bulletin</i>, 145, 455-462.</p><p>Hogarth, P. <i>The biology of mangroves and seagrasses</i>. Third edition. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.</p><p>Hoyos, R., Urrego, L. & Lema, A. (2013) Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. <i>Rev. Biol. Trop.</i> 61(3), 1445-1461. ISSN-0034-7744</p><p>Hush, B., Hush, B, Miller, C. y Beers, T. (1993). <i>Forest Mensuration</i>. Krieger Publishing Company. Third Edition Malabar, Florida 402 p.</p><p>Irma, D., & Sofyatuddin, K. (2012). Diversity of gastropods and bivalves in mangrove ecosystem rehabilitation areas in Aceh Besar and Banda Aceh districts, Indonesia. <i>AAFL Bioflux</i>, 5(2), 55-59.</p><p>Janzen, D.H. (1985). Mangroves: Where's the Understory? <i>J. Trop. Ecol.</i> 1: 89.</p><p>Jiménez, J. & Soto, R. (1985). Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. <i>Rev. Biol. Trop.</i> 33(1), 25-37.</p><p>Jung, M. (2016). LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. <i>Ecological Informatics</i>, 31, 18–21. <a href=)

- Kristensen, E. (2008). Mangrove crabs as ecosystem engineers; with emphasis on sediment processes. *Journal of Sea Research*, 59, 31.
- Lee, S. Y. (2008). Mangrove macrobenthos: Assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 59, 17.
- López-Hoffman, L., Anten, M. Martínez-Ramos & D.D. Ackerly. (2006). Salinity and light interactively affect Neotropical mangrove seedlings at the leaf and whole plant levels. *Oecologia* 150, 545-556
- Martin, C., Almahasheer, H., y Duarte, C. M. (2019). Mangrove forests as traps for marine litter. *Environmental Pollution*, 247, 499-508.
- McKee, K. L. (1995). Interspecific variation in growth, biomass partitioning, and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: response to light and nutrient availability. *American Journal of Botany*, 82(3), 299-307.
- Menéndez, L. & Guzmán, J. (2006). *Ecosistemas de manglar en el Archipiélago Cubano. Estudios y experiencias enfocados a su gestión*. Editorial Académica. La Habana, Cuba.
- MINAE. (2017). Guía práctica para la caracterización y delimitación de suelos hidromórficos asociados a los ecosistemas de humedal / Elaborado por MINAE, SINAC, INTA, Proyecto Humedales, GEF, PNUD.; San José, Costa Rica: 34 p.
- Parrish, J.D., D.P. Braun & R.S. Unnash. (2003). Are we conserving what we say we are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience* 53(9), 851-860.
- Pérez, C. & Villalobos, H. (2017). Caracterización preliminar de la avifauna del manglar de la ciudad de Puntarenas (Costa Rica) como un aporte para la actividad turística en la zona. *Boletín electrónico El Bohío*, 7 (5), 21-43.
- Ramsar, (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6ª ed., Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza). 120 p.
- Romero-Berny, E, Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C. & R. Gómez-Ortega. (2015). Land coverage changes and fragmentation of mangroves in the Soconusco Region, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*. Nº 54, 153-169. ISSN 1011-484X
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación y Universidad Nacional. (2021). PRONAMEC: *Protocolo para el Monitoreo Ecológico de los Arrecifes Rocosos*, 85.
- Sanabria-Coto, I., Carvajal-Oses, Campos-Rodríguez, M. & Solera-Steller, P. (2018). Propuesta para una Delimitación Geográfica Integral del Manglar de Nosara, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(61), 285-313." Poner "Revista Geográfica de América Central, 2

- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Ottawa, Canada. Bulletin 167(second edition). Fisheries research board of Canada.
- Tavakoly Sany, S. B.; Hashim, R.; Rezayi, M.; Salleh, A.; Azizur, M.; Safari, O & Sasekumar, A. (2014). Human health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons from consumption of blood cockle and exposure to contaminated sediments <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.05.004>.
- UNESCO (1982). The Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Manuals and guides. 11: 38.
- Valle, A., Osorno-Arango, A. & D. Gil-Agudelo. (2011). Estructura y regeneración del bosque de manglar de la Ciénaga de Cholón, Isla Barú, Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Caribe Colombiano. *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*, 40(1) 15-130.
- Vieira, B. P., Dias, D., Nakamura, E. M., Arai, T. I., & Hanazaki, N. (2013). Is there temporal variation on solid waste stranding in mangroves? A case study in Ratonos mangrove, Florianopolis, Brazil. *Biotemas*, 26 (1), 79-86.
- Villavicencio-Enríquez, L., & Valdez-Hernández, J. I. (2003). Analysis of tree structure in the traditional coffee agroforestry system in San Miguel, Veracruz, Mexico. *Agrociencia*, 37(4), 413-423.





## Anexo 1

# PROTOCOLO PARA EL MONITOREO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADO A LA ACUMULACIÓN NETA DE SEDIMENTOS EN MANGLARES

Proyecto "levantamiento de línea base del sistema de monitoreo integral de los ecosistemas de manglares del golfo de Nicoya"

*Danilo Torres (CATIE)*

*Rebeca Brenes (CATIE)*

*Miguel Cifuentes-Jara (Conservación Internacional)*

---

## Resumen

Los ecosistemas de manglar y el carbono azul que se encuentra son considerados a nivel internacional como importantes componentes en las estrategias de adaptación y mitigación, especialmente por su alta productividad y biomasa acumulada.

En este contexto, Costa Rica ha iniciado importantes acciones y líneas estratégicas en cuanto a la inclusión de estos importantes ecosistemas y el carbono azul en sus políticas nacionales, considerando a su vez cumplir con los múltiples compromisos internacionales adscritos.

En este contexto, se presenta el Protocolo de Carbono Azul para Costa Rica, en el cual se establecen los pasos necesarios para realizar la medición y cuantificación del carbono almacenado en los ecosistemas costeros y conocido como carbono azul.

## Glosario

### Área basal

Es el área de una sección de tierra que está ocupada por la sección transversal de los troncos y tallos de los árboles en la base.

### Acuerdo de París

Acuerdo destinado a fortalecer la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, entre otras cosas manteniendo el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales y realizando esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C.

### Biomasa

Cantidad de materia orgánica acumulada en un individuo, nivel trófico, población o ecosistema. Masa total de organismos vivos presentes en un área o volumen dados. El material vegetal muerto se puede incluir como biomasa muerta. Quema de biomasa es la quema de vegetación viva y muerta

### Carbono azul

El carbono capturado por organismos vivos en los ecosistemas costeros (por ejemplo, manglares, marismas de agua salada y praderas submarinas) y marinos, y almacenado en la biomasa y los sedimentos.

### Convención Ramsar

Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, conocida como la Convención de Ramsar, es un acuerdo internacional que promueve la conservación y el uso racional de los humedales. Es el único tratado mundial que se centra en un único ecosistema.

### Densidad aparente

Masa de suelo por unidad de volumen que varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica.

### Ecuación alométrica

Ecuaciones básicas de la alometría que permiten predecir la biomasa de un árbol en función de otra medida (por ejemplo, su diámetro). Una ecuación alométrica es una fórmula que formaliza de forma cuantitativa dicha relación.

### Estero

Terreno inmediato a la orilla de una ría por el cual se extienden las aguas de las mareas

### Estuario

Cuerpo de agua del litoral marítimo, semiencerrado, bajo la influencia simultánea de las mareas y la descarga de ríos, arroyos o canales de agua dulce. Las bahías, boca de ríos, marismas, lagunas costeras y esteros de manglar, ubicados al abrigo de los estuarios, son ecosistemas delicados que sirven como criaderos, desovaderos y comederos para una parte importante de animales marinos; además, proveen abrigo y comida a multitud de aves y en general, de vida silvestre

<b>Humedales</b>	Según la Ley de Conservación de la Vida Silvestre se definen como: Extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. Según Ley Orgánica de Ambiente se definen como: los ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja". extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas
<b>Lagunas costeras</b>	Cuerpo de agua semicerrado, con una barrera o duna costera que detiene el agua dulce proveniente de tierra firme y que recibe la influencia de mareas altas, o se abren temporalmente por determinado punto en la duna. Presentan alguna estratificación salina por el intercambio de aguas oceánicas y continentales. Junto con los estuarios son tal vez los ecosistemas más productivos y ricos en especies animales y vegetales del sistema costero. Ofrecen una buena protección del oleaje, mareas y corrientes a una variedad de especies; su escasa profundidad permite que la luz llegue al fondo. Los flujos de dos tipos de agua, dulce y salina, en combinación con el efecto del viento y otros factores, permiten la circulación efectiva o el transporte de nutrimentos y de diversos organismos.
<b>Manglares</b>	Un manglar es un grupo de árboles, arbustos, matorrales, algunos helechos y/o palmeras donde el principal integrante es el árbol de mangle. El mangle es muy tolerante a la sal, por lo que vive en áreas lodosas donde se combina el agua de mar con el agua dulce que desemboca de ríos o quebradas, entre las líneas de marea alta y marea baja. Para la identificación de un manglar se tomará como parámetro la presencia de árboles de alguna de las especies indicadas en el anexo 2 de este documento, así mismo, se incluyen dentro de estos ecosistemas los esteros y canales existentes. El límite se va a establecer hasta donde se extienda la vegetación asociada con este ecosistema según Decreto ejecutivo 35803-MINAET
<b>Marismas</b>	Terreno bajo anegadizo, con fango arenoso, que se halla a la orilla del mar y los estuarios, con comunidades vegetales muy características y productivas. Son altamente sensibles a la contaminación, como todos los humedales.
<b>Mitigación al cambio climático</b>	Intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero.
<b>Parcela</b>	Porción de terreno (proveniente de otro más grande) que puede ser utilizada para realizar mediciones de parámetros biológicos.

<b>Patrimonio Natural del Estado (PNE)</b>	Constituido por los bosques y terrenos forestales de las reservas nacionales, de las áreas declaradas inalienables, de las fincas inscritas a su nombre y de las pertenecientes a municipalidades, instituciones autónomas y demás organismos de la Administración Pública, excepto inmuebles que garanticen operaciones crediticias con el Sistema Bancario Nacional e ingresen a formar parte de su patrimonio. (Artículo 13 Ley Forestal N° 7575)
<b>Peso seco</b>	Peso de una muestra de suelo después del secado en un horno.
<b>Reservorio / Reserva / Depósito</b>	Componente del sistema climático, distinto de la atmósfera, con capacidad para almacenar, acumular o liberar una sustancia objeto de estudio (por ejemplo, carbono, gases de efecto invernadero o precursores). Son reservorios de carbono, por ejemplo, los océanos, los suelos o los bosques. Un término equivalente es depósito (obsérvese que la definición de depósito suele abarcar también la atmósfera). La cantidad absoluta de una determinada sustancia en un reservorio durante un tiempo dado se denomina reserva.
<b>Sumidero</b>	Todo proceso, actividad o mecanismo que sustrae de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de cualquiera de ellos.
<b>Transecto / unidad de muestreo</b>	Un transecto o unidad de muestreo es una línea extensa marcada sobre el suelo utilizada para realizar el registro de la información existente en un área de manglar.

## Acrónimos

<b>CATIE</b>	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>DAP</b>	Diámetro altura al pecho
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INF</b>	Inventario Nacional Forestal
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<b>MINAE</b>	Ministerio de Ambiente y Energía
<b>MIZC</b>	Manejo integrado de las zonas costeras
<b>MRV</b>	Medición, Reporte y Verificación
<b>NAMAs</b>	Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación
<b>NDC</b>	Contribución Nacionalmente Determinada, por sus siglas en inglés
<b>REDD</b>	Reducción de emisiones por deforestación y degradación
<b>REDD+</b>	Reducción de las Emisiones por Deforestación y Degradación
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>SINAC</b>	Sistema Nacional de Áreas de Conservación

## Unidades de Medida

<b>CO<sup>2</sup> e</b>	Dióxido de carbono emitido, si hay tala y destrucción del manglar.
<b>CO<sup>2</sup> e/ha</b>	Dióxido de carbono emitido por hectárea, si hay tala o destrucción del manglar
<b>MgC/ha</b>	Megagramos de carbono por hectárea.
<b>MgC</b>	Megagramos de carbono

# 1 Antecedentes

---

A nivel mundial los ecosistemas de manglar se han posicionado como uno de los principales hábitats dentro de las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, considerando su contribución e importancia ecológica y su aporte en el secuestro de carbono, conocido como carbono azul<sup>1</sup>. Estas estrategias de mitigación se basan en el potencial identificado de secuestro y almacenamiento de carbono en ecosistemas de manglar que alcanza alrededor de 2 a 5 veces mayor contenido que otros tipos de ecosistemas forestales, y que representan una excelente oportunidad para incluirlas dentro de los procesos nacionales de monitoreo de uso y cobertura en áreas marino costeras y su integración a procesos internacionales como REDD+, el sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) y su valoración adecuada en los inventarios forestales nacionales (Donato *et al.* 2011, Cifuentes *et al.* 2018).

Adicionalmente, los ecosistemas de manglar son de los más productivos y biodiversos a nivel mundial, y por tanto su impacto a nivel ecológico como económico es bastante alto<sup>2</sup>. A nivel económico su uso está relacionado con la provisión de bienes tales como la madera, producción de carbón y el uso de taninos en cueros, asimismo, los moluscos, cangrejos, camarones y peces que se utilizan como fuente de proteína. A nivel ecológico se reconocen la gran cantidad de servicios esenciales, tales como la abastecimiento y depuración del agua, regulación del clima, las inundaciones y la protección litoral (Pizarro *et al.* 2004, Convención Ramsar 2015).

Las estrategias de adaptación y las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en ecosistemas de manglar están basadas en los múltiples servicios ecosistémicos que brindan, pero específicamente en su capacidad de protección de línea de costa, retención de sedimentos, amortiguación de inundaciones, disminución de la fuerza de los vientos y olas durante las tormentas. Considerando lo anterior las estrategias de adaptación en áreas de manglar deben considerar su uso sostenible a corto, mediano y largo plazo, junto con las sinergias de estrategias de mitigación, que incluye el reconocimiento del carbono azul dentro del manejo integrado de las zonas costeras (MIZC) (Pizarro *et al.* 2004, Cifuentes *et al.* 2015, Convención Ramsar 2015, Herr & Landis 2016)

Las estrategias de mitigación, a nivel internacional, en área de manglar se han enfocado a la cuantificación e inclusión y de las reservas de carbono azul y diversos autores han desarrollado metodologías para su adecuada medición (Murdiyarso *et al.*, 2009, Kaufman & Donato 2012, Kauffman *et al.* 2013 Howard *et al.* 2014). Adicionalmente, el uso de nuevas tecnologías y avances en el manejo de los datos deben ser considerados como pieza clave para mejorar las estimaciones de carbono azul.

---

<sup>1</sup> El carbono azul es el carbono almacenado en el suelo, biomasa viva sobre el suelo y biomasa muerta de los pastos marinos, marismas y manglares (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2018).

<sup>2</sup> La estimación del valor económico de los manglares según sus productos y servicios ha sido calculada por diversos autores y se han establecido valores entre \$200.000 a \$900.000/ha y un valor de \$30/ha/año por el servicio de secuestro de carbono (Costanza *et al.* 1997, Cifuentes *et al.* 2015). En Costa Rica un estudio realizado para el Humedal Térraba Sierpe calculó un valor de \$1130 / día con la extracción de moluscos (Reyes *et al.* 2004)

El siguiente protocolo busca establecer una metodología robusta y sencilla, compatible con las buenas prácticas establecidas por el IPCC y considerando las metodologías utilizadas a nivel internacional y ajustada a las necesidades locales. La aplicación de este protocolo permitirá generar información necesaria para incluir el carbono azul en las Comunicaciones Nacionales de cambio climático y las informaciones bianuales a presentar ante la CMNUCCC. Se espera que la información a generar con este protocolo permita ser lo suficientemente detallada para alcanzar un nivel de precisión Tier 2-3 según el IPCC.

Asimismo, este protocolo está basado en los métodos y buenas prácticas establecidas y comprobadas en trabajo de campo por medio del trabajo realizado por Cifuentes *et al.* 2018, para manglares en la región. Este protocolo establece los métodos para cuantificar las existencias de carbono azul en manglares sobre el suelo, bajo el suelo, raíces, regeneración, madera caída, herbáceas. Para mayor detalle se puede consultar [Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares](#).

---

## 2 Ecosistemas de manglar

Los ecosistemas de manglar se desarrollan en zonas tropical y subtropical, específicamente en la franja intermareal, en suelos que se inundan periódicamente por efecto de la marea y caracterizados por ser fangosos y planos. Los mangles se encuentran en el litoral costero, estuarios, esteros, bahías ensenadas, lagunas costeras, desembocadura de ríos (Kauffman *et al.* 2013, Pizarro *et al.* 2014, Cifuentes *et al.* 2018).

Estos ecosistemas costeros son claves, pues proveen servicios ambientales y funciones ecológicas críticas para los recursos terrestres y marinos. Son sitios activos de intercambio de materiales (nutrientes y carbono) con ecosistemas adyacentes, como pastos marinos y arrecifes de coral. Presentan una de las reservas más grandes de carbono en los trópicos, sobrepasando cualquier tipo de bosque y probablemente este es el servicio ambiental más importante y menos estudiado (Kauffman *et al.* 2013).

La estructura y composición de los bosques de manglar se caracteriza por las condiciones de salinidad presentes, la constante presencia de mareas y sedimentos lodosos, por lo que las especies de manglar se han adaptado a estas condiciones por medio del desarrollo de un sistema de raíces y estructuras especializadas para el intercambio de gases conocidas como neumatóforos, los cuáles les permiten filtrar y excretar pequeñas cantidades de sal y la regulación de la cantidad de sales que ingresan al sistema de la planta (Pizarro *et al.* 2004, Kauffman *et al.* 2013).

Existen alrededor de 68 especies vegetales específicas de manglar a nivel mundial y cerca de 268 especies vegetales relacionadas con estos ecosistemas, sin embargo, en el continente americano sólo se han reportado 10 especies nucleares (Kauffman *et al.* 2013). En Costa Rica las especies consideradas nucleares son: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Avicennia bicolor*, *Mora oleifera* y *Conocarpus erectus*. Sin embargo, la dinámica de los ecosistemas de manglar es compleja, se pueden encontrar rodales puros y mezclados y esto depende principalmente por las condiciones de suelo, flujo de las mareas y salinidad (Ver anexo 2) (Pizarro *et al.* 2004).

Los ecosistemas de manglar en el país se distribuyen a lo largo de la costa Pacífica y en la costa Caribe, aunque en esta última en menor cantidad. Existen además extensiones importantes en la costa Pacífica, especialmente los manglares de Térraba- Sierpe y el manglar de Tamarindo declarados sitio de Importancia Internacional (Sitio Ramsar). Otros sitios declarados como Sitio Ramsar en el país son: manglares de Gandoca-Manzanillo y Potrero Grande. Se ha estimado que el país tiene un 7% de su territorio en áreas de humedal y de estos un 3% corresponde a áreas de manglar (Pizarro *et al.* 2004, Cifuentes *et al.* 2018)

### 3 Iniciativas internacionales y marco legal de los manglares en Costa Rica

En el marco de la legislación nacional, los humedales de manglar están definidos por régimen jurídico variado<sup>3</sup>. Se definen como sistemas estuarinos (siguiendo con la clasificación Ramsar) y que incluye hábitats de aguas profundas y tierras adyacentes con influencia de mareas, estuarios, humedales intermareales arbolados (que incluyen manglares), pantanos y esteros (zonas inundadas) intermareales (Decreto N° 35803.). A nivel de régimen de uso se clasifican como áreas silvestres protegidas<sup>4</sup> dentro de la categoría humedales, de esta forma su gestión se debe enmarcar dentro de un Plan General de Manejo, que es el instrumento de planificación de un área silvestre protegida (Decreto 34433).

El marco legal nacional establece a los ecosistemas de manglar como patrimonio natural del Estado y en su Ley Forestal 7575 establece que las únicas actividades autorizadas en estos sitios son la investigación, ecoturismo y capacitación<sup>5</sup>. El uso productivo no se enmarca en la legislación actual, por lo que el uso racional<sup>6</sup> en estas áreas requiere de una adecuada interpretación de los alcances de su uso y la exploración de nuevas iniciativas internacionales enmarcadas en el manejo basado en ecosistemas, mercados de carbono, REDD+, NAMAs, iniciativas de responsabilidad social-empresarial entre otros (Pizarro *et al.* 2004, Herr & Landis, 2016, Cifuentes *et al.* 2018).

A nivel internacional el país ha suscrito importantes Convenios Internacionales que direccionan el uso actual de los ecosistemas de humedales y humedales costeros y que han guiado el desarrollo de las actuales estrategias y acciones de política nacional en las zonas de manglar. El principal corresponde a la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (Convención Ramsar<sup>7</sup>), la cual representa un marco normativo para la gestión y conservación de los humedales costeros (Convención Ramsar 2015).

<sup>3</sup> Ley Orgánica del Ambiente N° 7554, Ley de Biodiversidad N° 7788, Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 73171

<sup>4</sup> Artículo 32 de la Ley N°. 7554, Ley Orgánica del Ambiente.

<sup>5</sup> Las áreas El resto de las áreas boscosas y terrenos de aptitud forestal de los litorales están también bajo la administración del Ministerio de Ambiente, Energía y se rigen por su normativa específica, artículo 13 de la Ley Forestal 7575 (Decreto N° 36786-MINAET)

<sup>6</sup> Uso racional se define como: "el mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible". (Convención Ramsar 2015)

<sup>7</sup> La Convención Ramsar es el instrumento internacional para la conservación de los ecosistemas de humedal (Convención Ramsar 2017)

La Convención Ramsar incentiva al desarrollo y aplicación de políticas o estrategias y planes nacionales o locales dirigidos a realizar esfuerzos para proteger y manejar de forma efectiva los sitios de humedal, que incluyen el desarrollo de inventarios nacionales de humedales, el manejo integrado de los recursos a una escala adecuada, y reciente a reconocido a nivel internacional el rol de estos ecosistemas en las estrategias de mitigación<sup>8</sup> (Ver anexo 1). Unido a lo anterior, y en seguimiento a la aplicación de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCCC), en el marco del Acuerdo de París, el país ha establecido estrategias y acciones políticas específicas dirigidas a las zonas costeras.

En seguimiento, el país ha reconocido el rol del carbono azul incluyéndolo en las contribuciones nacionalmente determinadas (NDC por sus siglas en inglés) y ha desarrollado importantes procesos a nivel local y nacional. En las NDC el país dedica todo un apartado al "Océano y recurso hídrico" y en el cual se establecen las contribuciones país con relación al carbono azul<sup>9</sup>, que incluye la protección, conservación, aumento del área y revertir la pérdida neta de los humedales costeros. También se han incluido en las metas de corto y largo plazo en el Plan Nacional de Descarbonización, incluyéndolos dentro de los ecosistemas alto en carbono (Gobierno de Costa Rica, 2020). Adicionalmente, el país a través de la Política Nacional de Humedales establece un marco de acción a largo plazo que converge con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), permitiendo al país cubrir los compromisos internacionales en materia de ecosistemas de manglar.

Paralelamente, el Programa Nacional de Humedales del Sistema Nacional de Conservación (SINAC) junto con socios estratégicos, ha establecidos proyectos piloto dirigidos a implementar acciones de adaptación y mitigación en áreas de manglar. Estos proyectos piloto han generado valiosa información y experiencia que puede ser escalable a nivel nacional. Específicamente, la experiencia desarrollada en los manglares del Golfo de Nicoya ha permitido establecer la Estrategia regional para el manejo y conservación de los manglares en el Golfo de Nicoya, cuyo éxito radica en el desarrollo de un instrumento que consolida y unifica la planificación a corto, mediano y largo plazo de las áreas de manglar, considerando la protección, recuperación y el uso sostenible de los manglares del Golfo de Nicoya (SINAC, 2019).

---

<sup>8</sup> Específicamente lo establecido en la Resolución XIII.14 (Ver anexo 1), la cual se dirige a establecer la Promoción de la conservación, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas costeros de carbono azul (Convención Ramsar 2018).

<sup>9</sup> En las Contribuciones Nacionalmente determinadas se establecen 10 contribuciones directamente relacionadas con carbono azul y ecosistemas de manglares (9.3 – 9.12) (Gobierno de Costa Rica, 2020)

## 4 Pasos metodológicos para la cuantificación de contenido de carbono en manglares

El desarrollo de un proceso de cuantificación de carbono azul requiere seguir con pasos específicos que permitan unificar y estandarizar su recopilación, análisis y comparabilidad de los resultados a nivel internacional.

Según Cifuentes *et al.* 2018, se establecen los siguientes 8 pasos (ver cuadro 1)

**Cuadro 1. Pasos generales para la cuantificación de carbono azul. Protocolo de Carbono Azul. Costa Rica. 2022.**

PASOS	DESCRIPCIÓN
1. DEFINICIÓN DE ÁREA	Definir los límites espaciales y temporales y el ámbito de las inferencias.
2. DEFINIR LA ESTRATIFICACIÓN	La estratificación del área de estudio. La estratificación es relativo a la escala y los objetivos del estudio. Para el país la estratificación para el montaje de las parcelas de campo en sitios de manglar se realizará por medio de la selección de puntos en la malla N3 elaborada para el SINAC y generada a partir de la malla geoespacial N1 utilizada para la ubicación de las parcelas de campo establecidas para el Inventario Forestal Nacional (IFN)
3. DEFINIR LOS DEPÓSITOS DE CARBONO A SER MEDIDOS	Siguiendo con lo establecido por el país para la generación del reporte de gases de efecto invernadero.
4. DISEÑO DE INVENTARIO	Que defina el tipo, número y ubicación de las parcelas muestrales.
5. DETERMINAR LA FRECUENCIA DE LAS MEDICIONES	Se señala utilizar la misma frecuencia a utilizar del Proyecto del Inventario Forestal Nacional.
6. TRABAJO DE CAMPO	Desarrollo de logística, toma de datos y generación de información recopilada en campo
MUESTRAS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO	La medición de carbono azul tiene un fuerte componente de análisis de laboratorio de las muestras de los diferentes depósitos
8. CÁLCULO DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO	Elaborar el análisis espacial y temporal y uso de datos para los diferentes reportes y compromisos nacionales e internacionales

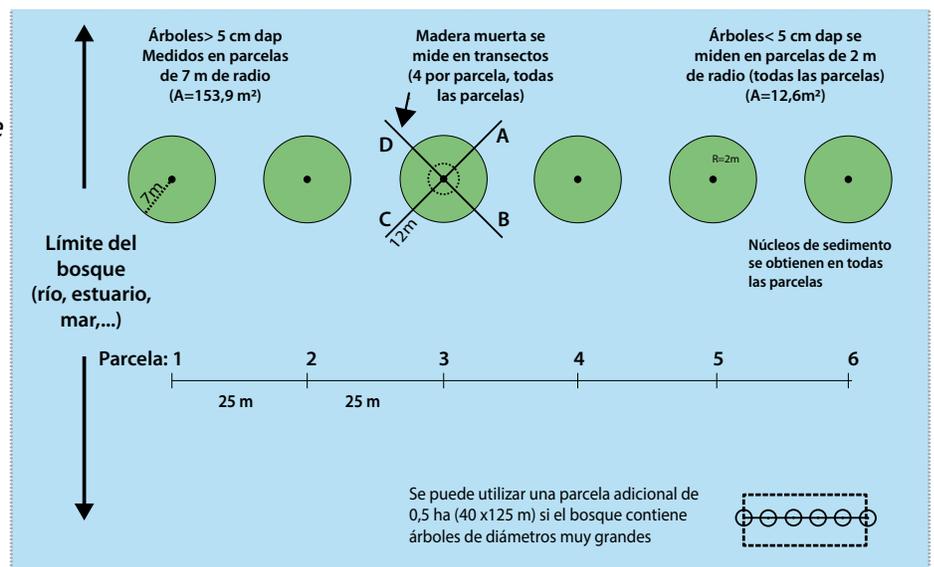
Este documento está dirigido a especificar la medición del carbono azul, indicando el trabajo de campo que se debe realizar para la toma, recopilación y sistematización de los datos necesario para el cálculo de la biomasa de los diferentes componentes de los ecosistemas de manglar.

## 4.1 Unidad de muestreo y tipo de muestreo

El proceso de colecta de datos debe iniciar con la identificación y ubicación de las unidades de muestreo. La ubicación de las unidades de muestreo deberá estar basadas en las necesidades y requisitos del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y el Programa del Inventario Forestal Nacional (IFN). Para asegurar la representatividad estadística se propone el uso de la malla geoespacial (N1) con la que actualmente cuenta el país, y diseñada para la ubicación sistemática de los puntos de muestreo a utilizar en el IFN. De esta malla geoespacial se han derivado dos mallas adicionales (N2 y N3) con una densidad de puntos mayor y que sirve para la ubicación de puntos de muestreo en área que requieren una mayor representatividad espacial (el caso de ecosistemas de manglar) y que permita mantener el arreglo estadístico original de la N1. De esta forma la selección de las unidades de muestreo mantiene la rigurosidad estadística necesaria para la inclusión de los datos en otros esfuerzos nacionales como los reportes de gases de efecto invernadero y procesos de medición, reporte y verificación (MRV) para REDD+.

Una vez seleccionadas las unidades de muestreo, se propone el uso del arreglo de muestreo basado en transectos (figura 1). Cada transecto consiste en una línea de 150 metros de distancia, ubicada perpendicularmente de la línea de costa / canal o río. A lo largo de este transecto se ubican 6 parcelas, iniciando a los 25 metros de la línea de costa y con una separación de 25 metros entre ellas (Cifuentes *et al.* 2018).

Figura 1. Distribución de las unidades de muestreo utilizando un arreglo de muestreo en transecto. Tomado de Kauffman *et al.* 2014



Las parcelas utilizan un sistema anidado de unidades muestrales, que permiten la colecta de datos para cada tipo de sumidero. Las unidades de muestreo principal son circulares con un radio de 7 metros, esta se utiliza para la colecta de datos de biomasa de árboles con diámetro  $\geq 5$  cm. Para los árboles con diámetros  $< 5$  cm, se toman los datos en una subparcela de 2 m de radio contenida dentro de la principal (ver figura 2).

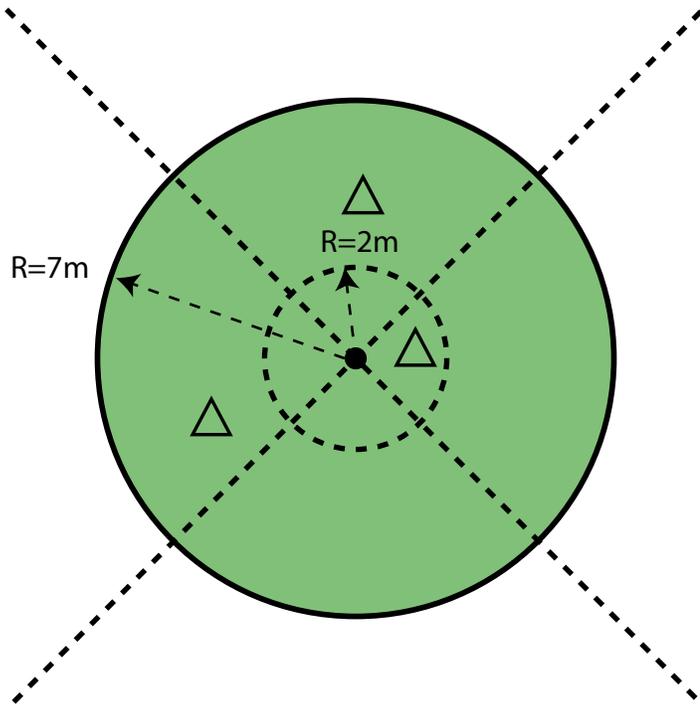


Figura 2. Parcela anidada a utilizar en la cuantificación de biomasa y carbono en bosques de manglar. Cifuentes *et al.* 2018 adaptado de Kauffman & Donato (2012).

## 4.2 Contenido de carbono en manglares

Se conoce como carbono azul, al carbono acumulado en manglares, marismas y pastos marinos, en el suelo, la biomasa aérea viva (hojas, ramas, tallos), la biomasa subterránea viva (raíces) y la biomasa muerta (detritos y madera muerta) (Howard *et al.* 2014). En los manglares se reconocen los almacenes y flujos de carbono, el cual tiene gran interés por su relación con gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano) (Herrera *et al.* 2016). Capturan una significativa cantidad de carbono de la atmósfera y la almacenan en sus raíces, troncos, ramas, hojas y el suelo (que es rico en materia orgánica y se almacena mucho carbono). Si se destruyen los manglares, gran parte de este carbono almacenado tarde o temprano entrará a la atmósfera, contribuyendo así a la aceleración del cambio climático (ANAM & ARAP 2013).

Para el cálculo de las existencias de biomasa, carbono (C) y dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) almacenado en los manglares, se requiere de la estimación secuencial y por separado de cada uno de los componentes del ecosistema según su tamaño y sumidero. Los sumideros para cuantificar son:

1. Árboles y regeneración (Biomasa arriba del suelo)
2. Helechos y herbáceas (Biomasa arriba del suelo)
3. Raíces (Biomasa bajo del suelo),
4. Madera caída
5. Hojarasca
6. Suelo.

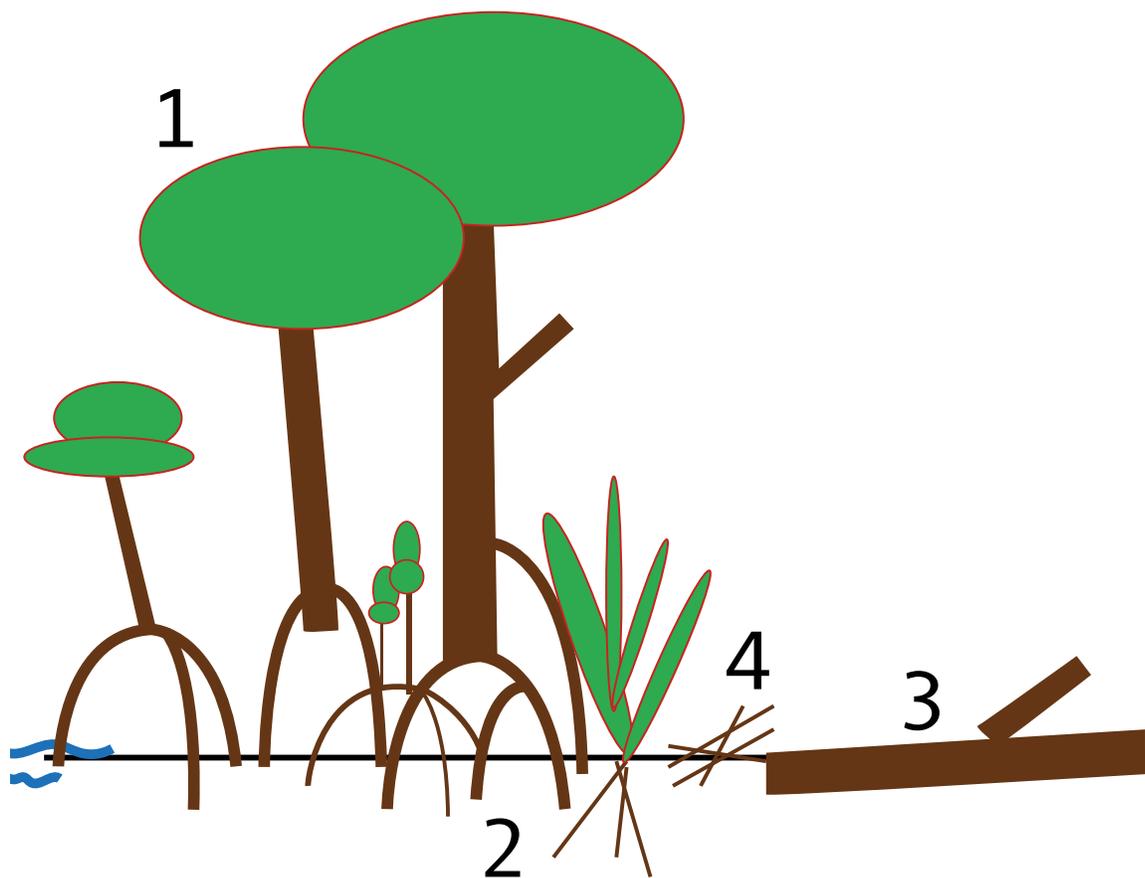


Figura 3. Depósitos elegibles para la medición de ecosistemas naturales según el IPCC, 2003. Fuente Cifuentes et al. 2018. Nota. 1. Biomasa arriba del suelo, 2 biomasa debajo del suelo, 3 madera caída, 4 hojarasca y 5 carbono del suelo.

Posteriormente, con la sumatoria de todos los componentes, se obtienen los valores de biomasa, carbono y dióxido de carbono a nivel de todo el ecosistema. Para obtener datos y resultados confiables de las existencias de biomasa, carbono y dióxido de carbono para cada uno de los componentes y a nivel de ecosistema en los manglares, se recomienda seguir las buenas prácticas para la recolección, manejo y análisis de datos mencionadas por Casanoves et al. (2017) y Orozco & Brumér (2002) para inventario forestales.

La biomasa producida por los manglares puede tener varios destinos:

- (i) parte de la biomasa producida puede ser consumida por la fauna, directamente o después en el sistema acuático,
- (ii) Puede incorporarse como carbono al sedimento, donde se almacena por períodos más largos de tiempo,
- (iii) el carbono puede ser remineralizado y emitido de regreso a la atmósfera como dióxido de carbono o exportado como carbono inorgánico disuelto,
- (iv) el carbono puede exportarse a ecosistemas adyacentes en forma orgánica (disuelto o particulado) donde puede ser depositado en sedimentos, mineralizado o utilizado como una fuente de alimento por comunidades faunísticas (Bouillon *et al.* 2009).

A continuación, se brinda un resumen de los procedimientos para realizar los cálculos de contenido de carbono en mangle para cada uno de los componentes. Este documento está basado en el "[Manual centroamericano para la medición de carbono azul](#)" (Cifuentes *et al.* 2018) y el "[Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reserva de carbono de los manglares](#)" (Kauffman *et al.* 2013).

## 4.2.1 Árboles, regeneración y raíces.

---

Para medir la biomasa de los árboles, regeneración y raíces, así como, para los cálculos de estructura y composición florística se utilizan las parcelas con un radio de 7 metros. Para el componente arbóreo, se miden aquellos árboles con diámetro a la altura al pecho (DAP) mayor a 5 cm, en caso de raíces fúlcreas o presencia de raíces, se mide el diámetro del árbol 30 cm a partir de la última raíz. Los datos para tomar son DAP, especie, si el árbol está vivo o muerto, todos estos datos son necesarios para calcular la diversidad florística y para calcular la gravedad específica de la madera.

Actualmente el país dispone de una serie de ecuaciones alométricas que se han utilizado frecuentemente en los inventarios de carbono azul de los manglares en los últimos 10 años (Cuadro 2) y que se sugiere utilizar para asegurar la armonización y comparación de todos los datos nacionales. Sin embargo, las mismas deberán ser reemplazadas una vez el país construya ecuaciones alométricas nacionales para el carbono azul. Cifuentes *et al.* (2018) y Kauffman *et al.* (2013) contienen listas más extensas de ecuaciones alométricas recomendadas para las especies de mangle.

**Cuadro 2. Ecuaciones alométricas utilizadas para calcular las existencias de biomasa en árboles, regeneración y raíces de mangle.**

Espece	Ecuación	Fuente
<i>Avicennia germinans</i> y <i>A. bicolor</i>	$B = 0.0942 * D^{2.54}$	Imbert & Rollet (1989)
<i>Pelliciera rhizophorae</i>	$B = 0.0942 * D^{2.54}$	Imbert & Rollet (1989)
<i>Rhizophora racemosa</i>	$B = 0.128 * D^{2.6}$	Fromard <i>et al.</i> (1998)
<i>Rhizophora mangle</i>	$B = 0.722 * D^{1.731}$	Smith & Whelan (2006)
<i>Laguncularia racemosa</i> y otras especies	$B = \rho * \text{Exp}(-1.349 + 1.98 * \text{Ln}(D) + 0.207 * \text{Ln}(-D)^2 - 0.0281 * \text{Ln}(D)^3)$	Chave <i>et al.</i> (2005) Raíces
Raíces especies de manglares	$B_{raíces} = 0.199 * \rho^{0.899} * D^{2.22}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)
Raíces otras especies	$B_{raíces} = \text{Exp}(-1.085 + 0.9256 * \text{Ln}(B))$	Cairns <i>et al.</i> (1999)

D: diámetro (cm);  $\rho$ : gravedad específica de la madera (g/cm<sup>3</sup>); B: biomasa sobre el suelo (Kg/árbol).

Además, se deben considerar los mangles enanos o chaparros (Figura 4), los cuales se caracterizan por un desarrollo limitado de altura, debido a las condiciones ecológicas de alta salinidad que presentan los suelos donde se establecen. En Costa Rica, los sitios con estas condiciones se encuentran en el sector de Colorado de Abangares y el Puente de la Amistad, en Guanacaste. Las ecuaciones alométricas utilizadas para este tipo de árboles (Cuadro 3) requieren medir el diámetro a 30 cm de altura sobre el suelo (cm) y la altura total (m).

Espece	Ecuación	Fuente
<i>Avicennia germinans</i>	$B = 200.4 * D^{2.1}$	Fromard <i>et al.</i> (1998)
<i>Rhizophora mangle</i>	$B = 125.9571 * D^2 * H^{0.8557}$	Cintrón & Shaeffer-Novelli 1984

B: biomasa sobre el suelo (g); D<sub>30cm</sub>: diámetro a 30 cm sobre el suelo (cm); H: altura total (m).



Figura 4. Árboles de *Avicennia germinans* en condición enana o chaparros creciendo en las cercanías del Refugio Nacional de Vida Silvestre Cipancí, Costa Rica.

Otro aspecto importante para considerar es que se deben muestrear los árboles muertos y clasificarlos en tres categorías, según grado de integridad estructural con respecto a la biomasa original (Figura 5).

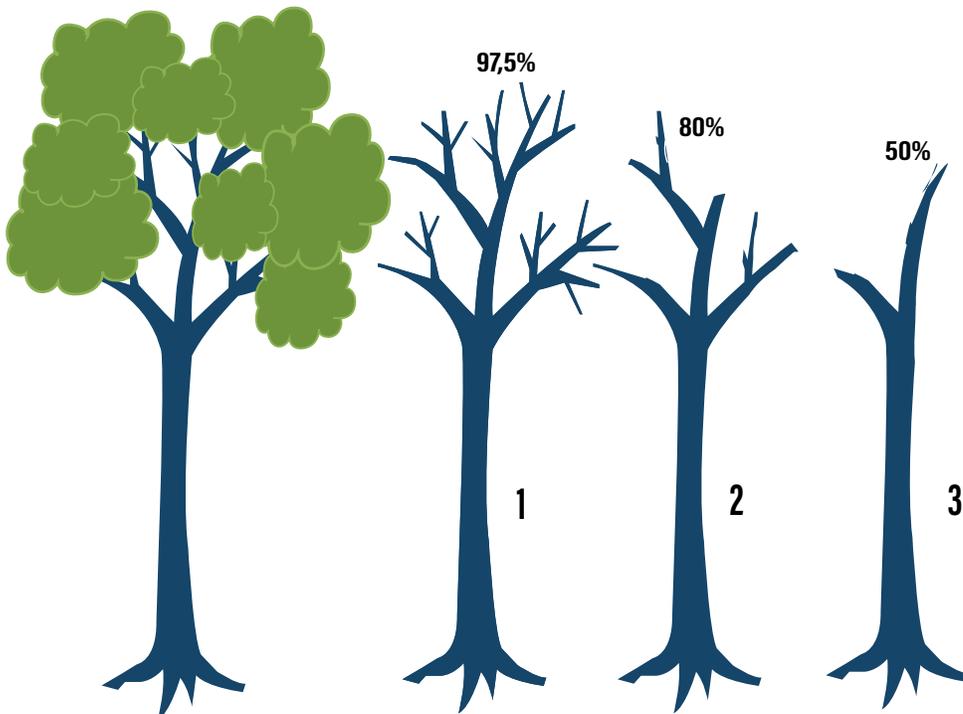


Figura 5. Escala visual para determinar el grado de integridad de los árboles de mangle en pie. De izquierda a derecha se muestra un árbol intacto, 97,5%, 80% y 50% de la biomasa original (Kauffman et al. 2013).

En el cuadro 4 se muestra la información de la gravedad específica para las especies de manglar, la cual es requisito para el cálculo de biomasa de estos ecosistemas. Asimismo, se recomienda consultar las bases de datos de Chave *et al.* (2006), Zanne *et al.* (2009), Cifuentes *et al.* (2017) y Cifuentes *et al.* (2018), para obtener la información de gravedad específica de otras especies arbóreas que crecen asociadas a estos ecosistemas o en las áreas de transición a tierra firme.

**Cuadro 4. Gravedad específica de la madera para especies de manglar.**

Especie	Gravedad específica de la madera (g/cm <sup>3</sup> )			
	Zanne <i>et al.</i> 2009	Chave <i>et al.</i> 2006.	Monsalve & Ramírez, 2015	Promedio
<i>Rhizophora mangle</i>	1,05; 0,89; 0,84; 0,904; 0,88; 0,81; 0,91	0,91		0,899
<i>Rhizophora racemosa</i>	0,88; 0,999; 0,92	0,88		0,920
<i>Avicennia germinans</i>	0,9; 0,75; 0,67; 0,77; 0,792	---		0,776
<i>Laguncularia racemosa</i>	0,60; 0,62	0,61		0,610
<i>Conocarpus erectus</i>	1,00; 0,69	1,00		0,897
<i>Pelliciera rhizophorae</i>	----	----	0,54	
<i>Avicennia sp.</i>	----	0,578		

Para convertir los datos de biomasa a carbono de árboles y carbono de regeneración, se debe multiplicar por un factor de conversión, que corresponde a la concentración de carbono en el tejido vegetal según la especie. En este caso para árboles de *R. mangle* el factor de conversión es de 47,52%; el de *P. rhizophorae* 46,67%; y para las otras especies de mangle se utiliza el 47% (Cifuentes *et al.* 2014). La concentración de carbono en las raíces es típicamente menor que la de los componentes aéreos (fustes y ramas). El carbono de la masa subterránea de los manglares (raíces) puede calcularse multiplicando la biomasa un factor de 39% (Kauffman *et al.* 2013).

Las reservas de carbono pueden convertirse a unidades de CO<sub>2e</sub> multiplicando la reserva de carbono por 3,67. Este valor es la proporción molecular entre el peso del dióxido de carbono (44) y el del carbono (12).

## 4.2.2 Helechos y herbáceas.

Para el cálculo de carbono de las especies de helechos y herbáceas, se debe cosechar y pesar todo el material herbáceo existente en un área de muestreo de 1m x 1 m ó 0,5mx 0,5m (se recomienda usar marcos de tubos de PVC) (Ver figura 6). Una vez pesado todo el material existente, se toma una muestra de 100 a 200 gramos, la cual se debe llevar a un laboratorio para su adecuado proceso de secado en horno y obtener así el peso seco por unidad de área de peso húmedo (Figura 3). Obtenido el peso seco (biomasa seca) se extrapola a toneladas por hectárea. Finalmente, para convertir los datos de biomasa a carbono, se multiplica por el factor de conversión de 0,47 (IPCC, 2006). Las reservas de carbono también pueden convertirse a unidades de CO<sub>2e</sub> multiplicando la reserva de carbono por 3,67 (Cifuentes *et al.* 2018 y Kauffman *et al.* 2013).



Figura 6. Proceso para cosechar material vegetal y determinar el peso fresco total y la biomasa utilizando marcos de tubos de PVC. Fuente: Cifuentes *et al.* 2018 y fotos de Danilo Torres

## 4.2.3 Madera muerta caída.

La madera muerta puede llegar a constituir un componente significativo de la biomasa aérea, especialmente en zonas afectadas por perturbaciones naturales como huracanes. La madera muerta tiene una serie de funciones ecológicas importantes en los manglares y el cambio de uso del suelo es un factor que puede aumentar su cantidad de manera considerable. Es necesario medir este parámetro para determinar de forma adecuada las reservas de carbono y la influencia de las perturbaciones naturales y antrópicas (Kauffman *et al.* 2013). El número y tamaño de las piezas de madera muerta caída se registran en el campo por medio de la metodología del **transecto de intersección** (Brown & Roussopoulos, 1978). Se debe consultar Cifuentes *et al.* (2018) para obtener los detalles completos de este método. Hay dos ecuaciones para determinar el volumen por hectárea de la madera muerta caída mediana (< 7,6 cm) y madera muerta caída grande ( $\geq 7,6$  cm), respectivamente (Kauffman & Donato 2012, Kauffman *et al.* 2013); Cuadro 4).

**Cuadro 5. Ecuaciones para calcular el volumen de madera muerta caída en manglares de Costa Rica.**

Tamaño de madera muerta caída	Ecuación
Mediana: < 7,6 cms	$\text{Volumen (m}^3 \text{ / ha)} = \frac{\pi^2 * N_i * DPC_i^2}{8L}$
Grande: ≥ 7,6 cm	$\text{Volumen (m}^3 \text{ / ha)} = \frac{\pi^2 * \sum d_i^2}{8L}$

Ni = número de piezas intersectadas de clase i; DPC = promedio cuadrático del diámetro de clase i (cm); L = longitud del transecto de muestreo para cada tamaño de madera caída (m); DPC= Raíz (( $\sum d_i^2$ )/n); DPC: diámetro promedio cuadrático; di: diámetro de cada muestra de madera por clase (m).

Dado que las ecuaciones calculan volumen por hectárea, éste se debe convertir a biomasa, usando valores de gravedad específica de la madera según el estado de descomposición de cada pieza muestreada. Para las piezas de madera en estado sólido se usa un valor de 0,50 g/cm<sup>3</sup>, para las piezas de madera en estado intermedio 0,35 g/cm<sup>3</sup> y para las piezas de madera en estado podrido 0,20 g/cm<sup>3</sup> (Penman *et al.* 2003 citado por Cifuentes *et al.* 2018). Para convertir la biomasa a carbono o CO<sub>2e</sub>, el procedimiento es idéntico al descrito previamente para otros componentes del ecosistema.

## 4.2.4 Suelo

Las muestras de suelo de manglar se extraen con un barreno diseñado para el muestreo de arcilla húmeda y turba (Figura 4: AMS Gouge Auger, 2-1/2" x 40") en un punto ubicado aleatoriamente dentro de la parcela establecida. Los núcleos extraídos se separan en intervalos de 0cm – 20cm, 20cm – 40cm, 40cm – 60cm, 60cm – 80cm y 80cm -100 cm de profundidad. En cada intervalo de profundidad, se toma una muestra de 3 cm de longitud para determinar densidad aparente del suelo (DAP). El material restante se homogeniza y se lleva una submuestra entre 100 y 200 gramos a un laboratorio analítico para realizar el análisis de carbono total por medio del método de combustión total (Cifuentes *et al.* 2018).

Una vez que se obtienen los valores de densidad aparente del suelo y el porcentaje de carbono, determinado en laboratorio para cada uno de los intervalos de profundidad, se calcula el carbono en el suelo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Carbono}_{\text{suelo}} \text{ (Mg/ha)} = \%C * \text{DAP (g/cm}^3\text{)} * \text{Longitud del intervalo de profundidad (cm)}$$

La sumatoria de los contenidos de carbono por intervalo de profundidad representa la existencia total de carbono en el suelo hasta la profundidad muestreada, para cada punto de muestreo.



*Figura 7. Instrumento y técnica utilizada para el muestreo de suelo en manglares. (Fuente: Cifuentes et al. 2018)*

El contenido de carbono en el suelo se puede reportar a cualquier profundidad deseada (de 0 a 10 cm, 0 a 20 cm, 0 a 30 cm, 0 a 50 cm o hasta un metro), según los objetivos y necesidades del proyecto que se ejecuta. Sin embargo, se recomienda realizar los reportes hasta un metro de profundidad para poder comparar entre sitios, ya que estudios recientes de carbono azul realizados en Costa Rica (Cuadro 5), El Salvador, Honduras, Panamá, Guatemala, México y otros, realizaron los reportes hasta un metro y en ocasiones a dos metros de profundidad. Además, Costa Rica cuenta con un “Protocolo para el monitoreo ecológico de manglares” (SINAC & UNA, 2020), donde se analizará la estructura y textura de los suelos de manglares hasta un metro de profundidad en intervalos de 20 cm (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm y 80-100 cm), por tanto, lo que se pretende es que las diferentes metodologías sean amigables entre ellas y poder correlacionar los resultados encontrados.

## 5 Carbono a nivel de ecosistema.

El carbono total en el ecosistema es la suma del carbono almacenado en cada uno de sus componentes evaluados (Figura 8):

$$\text{Carbono total (Mg/ha)} = C_{\text{árboles}} + C_{\text{regeneración}} + C_{\text{raíces}} + C_{\text{herbáceas}} + C_{\text{madera caída}} + C_{\text{suelo}}$$

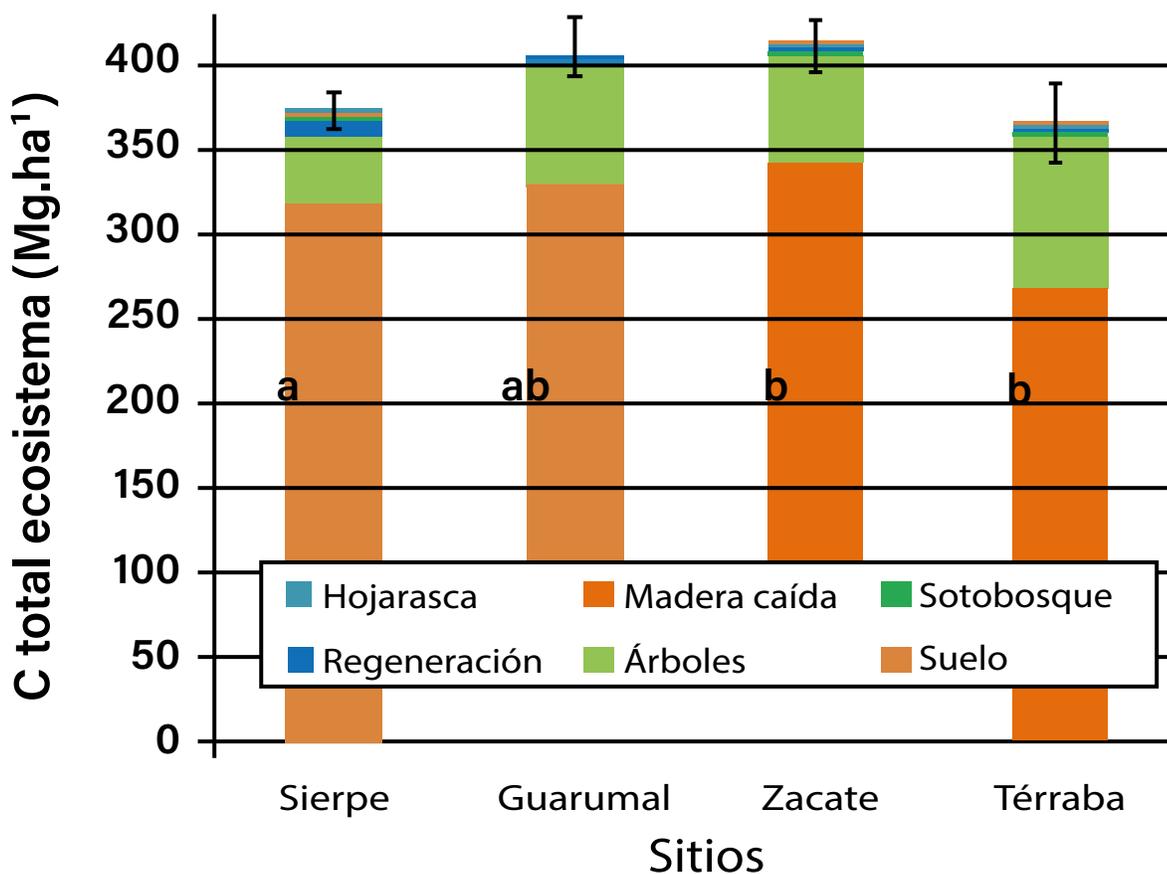


Figura 8. Ejemplo de los resultados de un inventario de carbono a nivel de ecosistema para diferentes sitios en los manglares del Humedal Nacional Térraba – Sierpe, Osa, Puntarenas. (Fuente: BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2012)

En Costa Rica se han realizado varios estudios de carbono azul en manglares; en Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNTS) en el año 2011-2012, Golfo de Nicoya (GN) en 2014, Laguna Gandoca (LG) y Estero Moín (EM) en 2011), Humedal Estero Puntarenas y Manglares Asociados (HEPyMA) en 2021 y Humedal Níspero, San Buenaventura – Colorado (HNSC) en 2021. El Cuadro 5 resume los resultados de estudios realizados en Costa Rica en manglares por componente.

**Cuadro 6 Contenido de carbono almacenado (Mg C/ha) por componente en los diferentes manglares de Costa Rica.**

Componente	HEPyMA <sup>1</sup>	HNSC <sup>1</sup>	GN <sup>2</sup>	HNTS <sup>3</sup>
Árboles	101,75 ± 10,91	43,28 ± 6.9	30,99 ± 4,37	88,48 ± 7,31
Raíces	39,89 ± 6,02	31,71 ± 3.8	34,16 ± 2,21	----
Regeneración	1,33 ± 2,17	3,58 ± 1.37	9,55 ± 2,60	10,79 ± 3,35
Madera caída	1,95 ± 1,39	2,1 ± 0.88	2,05 ± 0,44	2,93 ± 0,57
Herbácea/helecho	----	----	----	1,26 ± 0,68
Hojarasca	----	----	----	0,27 ± 0,04
Suelo 1m	197,62 ± 20,74	223,33 ± 3.12	297,70 ± 12,89	312,25 ± 13,17
Suelo 2m	390,55 ± 43,88	18,7 ± 27.72	---	----
Suelo 3m	----	418,7 ± 27.72	849,69 ± 35,20	----
Carbono total 1 m	342,54 ± 22,69	304,00 ± 14.35	374,45 ± 14,04	415,98 ± 15,46
Carbono total 2m	535,46 ± 42,41	499,37 ± 26.83	----	----
Carbono total 3m	----	----	926,44 ± 35,64	----

<sup>1</sup>Pineda 2021. <sup>2</sup>Cifuentes et al. (2014). <sup>3</sup>BIOMARCC-SINAC-GIZ 2012.

## 6 Cálculo de los intervalos de confianza al 95% para cada componente.

Es importante incluir en los cálculos de cuantificación carbono de cada componente (árboles, regeneración, raíces, herbácea y helechos, madera caída y suelo) la incertidumbre asociada a la medición, tanto para el ecosistema evaluado y en general para la zona de estudio. La incertidumbre es un reflejo de la precisión de los datos, suele utilizarse un intervalo de confianza (IC) de 95%, el cual se presenta como el porcentaje de variación alrededor de la media. El IC a 95% es el promedio (X)  $\pm$  dos veces el error estándar (SE) de la media (Kauffman et al. 2013).

**IC (95%) para cada componente = X  $\pm$  2 \* SE**

$$X = \Sigma (xi)/n$$

donde:

X: carbono promedio del componente analizado (MgC/ha).

xi: carbono del componente analizado (MgC/ha) de cada unidad de muestreo.

n: tamaño de la muestra (unidades de muestreo establecidas en el estrato).

$$SE = \frac{\sqrt{(\Sigma (xi-X)^2)/n}}{\sqrt{n}}$$

donde:

xi: carbono del componente analizado (MgC/ha) de cada unidad de muestreo.

X: carbono promedio del componente analizado (MgC/ha).

n: tamaño de la muestra (unidades de muestreo establecidas).

## 7 Incertidumbre asociada a la estimación de las reservas de carbono a nivel de ecosistema.

La reserva total de carbono a nivel de ecosistema es la sumatoria de todos los componentes analizados (árboles, regeneración, raíces, herbáceas y helechos, madera caída y suelo), donde cada componente tiene una incertidumbre asociada. Para calcular la incertidumbre para la reserva total de carbono es necesario conjuntar la incertidumbre de todos los componentes, mediante el método de propagación de error simple a través de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de los errores de los componentes (Kauffman et al. 2013).

Incertidumbre para la reserva total de carbono =

$$\sqrt{(IC \text{ árboles})^2 + (regeneración)^2 + (IC \text{ raíces})^2 + (IC \text{ madera caída})^2 + (IC \text{ suelo})^2}$$

## 8 Referencias

- BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2012. Evaluación de carbono en el Humedal Nacional Terra-ba-Sierpe. San José-Costa Rica. 26 p.
- Cairns, M.A; Brown, S; Helmer, E.H; Baumgardner, G.H. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia Review*. 111: 1-11.
- Chave, J.C; Muller Landau, H.C; Baker, T.R; Easdale, T.A; ter Steege, H; Webb, C.O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. *Ecological Applications*. 16: 2356-2367
- Chave, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, M.A; Chambers, J.Q; Eamus, D; Folster, H; Fromard, F; Higuichi, N; Kira, T; Lescure, J.P; Nelson, B.W; Ogawa, H; Puig, H; Riéra, B; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia Review*. 145: 87-99.
- Cifuentes-Jara, M.; Brenes, C.; Manrow, M.; Torres, D. 2014. Dinámica de uso de la tierra y potencial de mitigación de los manglares del Golfo de Nicoya. Informe final. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 44 p.
- Cifuentes-Jara, M; Rivera, C; Magaña, J; Velázquez Mazariegos, S; Torres, D; Molina, O. 2017. Dinámica de cobertura del suelo y potencial de mitigación de los manglares de El Salvador. Memoria Técnica. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 174 p.
- Cifuentes-Jara, M.; Brenes, C.; Leandro, P.; Molina, O.; Romero, T.E.; Torres, D. y Velásquez, S. (2018). Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p. (Serie técnica. Informe técnico, no.#141).
- Convención Ramsar 2015. El Cuarto Plan Estratégico para 2016 – 2024. Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas – la “Convención de Ramsar”. Adoptado por la 12ª Reunión de la Conferencia de las Partes, Punta del Este, Uruguay, 1 a 9 de junio de 2015, por Resolución XII.2. 36 p
- Convención Ramsar. 2018. Proyecto de resolución sobre la promoción de la conservación, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas costeros de carbono azul. 13ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención de Ramsar sobre los Humedales . “Humedales para un futuro urbano sostenible” Dubái, Emiratos Árabes Unidos, 21 a 29 de octubre de 2018. Ramsar COP13 Doc.18.15. 5 p.
- Costanza, R; D'Arge, R; de Groot, R; Farber, S; Grasso, M; Hannon, B; Limburg, K; Naeem, S; O'Neill, RV; Paruelo, J; Raskin, RG; Sutton, P; van del Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Decreto N° 34433 2016. Reglamento a la Ley de biodiversidad. San José, 19 octubre 2016.
- Decreto N° 35803. 2010. Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales. Ministerio de Ambiente, Energía Y Telecomunicaciones. 07 de enero 2010.
- Decreto N° 36786-minaet 2011. Manual para la clasificación de tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la zona marítimo terrestre en costa rica. Decreto 12 de agosto del 2011, publicado en la gaceta no. 217 del 11 de noviembre 2011.
- Fromard, F., Puig, H., Mougín, E., Marty, G., Betoulle, J.L., Cadamuro, L., 1998. Structure above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia Review*. 115, 39–53.

- Gilman, E; Van Lavieren, H; Ellison, J; Jungblut, V; Wilson, L; Areki, F; Brighthouse, G; Bungitak, J; Dus, E; Henry, M; Sauni Jr., I; Kilman, M; Matthews, E; Teariki-Ruatu, N; Tukia, S; Yuknavage, K. 2006. Pacific island mangroves in a changing climate and rising sea. Nairobi, Kenya, UNEP Regional Seas Programme. Reports and Studies No. 179.
- Gobierno de Costa Rica. 2018. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050. 113 p.
- Gobierno de Costa Rica, MINAE, Dirección de Cambio Climático. 2020. Contribución Nacionalmente Determinada. San José, Costa Rica. 115 p.
- Herr, D. y Landis, E. 2016. Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Policy. Brief. Gland, Suiza: UICN y Washington, DC, EE.UU.: TNC. 28 p.
- IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (Often referred to as IPCC AFOLU GL)
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Arlington, Estados Unidos, Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. 182 p.
- Kauffman, J.B.; Donato, D.C. 2012. Protocols for the measurement, monitoring, and reporting of structure, biomass, and carbon stocks in mangrove forests. Bogor, Indonesia, CIFOR. 40 p. (Working Paper 86).
- Kauffman, J.B; Donato D.C; Adame M.F. 2013. Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares. Documento de Trabajo 117. Bogor, ID: CIFOR. 48 p.
- Kauffman, J ; Heider, C; Norfolk, J; Payton, F. 2014. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications* 24(3):518-527.
- Komiyama, A; Ong, J.E; Pongpan, S. 2008. Allometry, biomass and productivity of mangrove forests. *Aquatic Botany Review*. 89: 128-137.
- Manosalve, A; Ramírez, G. 2015. Caracterización de la estructura y contenido de carbono de los bosques de manglar en el área de jurisdicción del Consejo Comunitario La Plata, Bahía Málaga, Valle del Cauca. Medellín, Colombia: Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Global. 80 p.
- MIAMBIENTE y PNUD. 2017. Protocolo para medición de carbono en ecosistemas de manglar en Panamá. Serie técnica No. 2. República de Panamá. 39p.
- Murdiyarsa, D.; Donato, D.; Kauffman, J.B.; Kurniati, S.; Stidham, M.; Kanninen, M.; 2009. Carbon storage in mangrove and peatland ecosystems: A preliminary account from plots in Indonesia. Bogor, Indonesia, CIFOR. 37 p.
- Pizarro, F.; Piedra, L.; Bravo, J.; Asch, J.; Asch, C. 2004. Manual de procedimientos para el manejo de los manglares de Costa Rica. Heredia, Costa Rica, UNA. 132 p.
- Reyes, V. et al. 2004. Valoración socioeconómica del Humedal Térraba-Sierpe HNTS. Proyecto de la Unión Mundial para la Naturaleza. Costa Rica: Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica
- SINAC. 2019. Estrategia Regional para el Manejo y Conservación de los Manglares en el Golfo de Nicoya-Costa Rica 2019-2030. San José-Costa Rica. 46 p
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. 2018. Metodología y Cuantificación de Carbono Azul en las áreas de manglar de Bahía de La Unión, La Unión, El Salvador. UICN-ORMACC. 53 p
- Zanne, A.E; Lopez-Gonzalez, G; Coomes, D.A; Ilic, J; Jansen, S; Lewis, S.L; Miller, R.B; Swenson, N.G; Wiemann, M.C; Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier: <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

## 9 Anexos.

### Anexo 9.1. Principales resoluciones de la Convención Ramsar en relación con el cambio climático y estrategias adaptadas al cambio climático en ecosistemas de manglar.

Resolución	Descripción
Resolución XIII.14	"Promoción de la conservación, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas costeros de carbono azul"
Resolución VIII.4	"Sobre Principios y lineamientos para incorporar las cuestiones concernientes a los humedales en el manejo integrado de las zonas costeras (MIZC), que insta a las Partes Contratantes a garantizar que los humedales costeros y sus valores y funciones, y su importancia para la conservación de la diversidad biológica, incluida su función vital en la mitigación de los efectos del cambio climático y el aumento del nivel del mar, sean reconocidos plenamente en sus políticas, planificación y toma de decisiones en la zona costera;"
Resolución X.24	"Sobre Cambio climático y humedales, que insta a las Partes Contratantes a gestionar los humedales de forma racional para aumentar su resiliencia al cambio climático y tomar medidas urgentes para reducir la degradación, promover la restauración y mejorar las prácticas de gestión de los tipos de humedales que constituyen importantes sumideros de gases de efecto invernadero
Resolución XI.14	"Sobre Cambio climático y humedales: consecuencias para la Convención de Ramsar sobre los Humedales, que insta a las Partes Contratantes a mantener o mejorar las características ecológicas de los humedales a fin de promover la capacidad de los humedales para contribuir a la adaptación al cambio climático basada en la naturaleza" Resolución XII.13
Resolución XII.13	"Sobre Humedales y reducción del riesgo de desastres, que acoge con beneplácito las iniciativas que apoyen la conservación y restauración de los humedales costeros y alienta a la participación en esas actividades"
Resolución XIII.14	"Sobre la Promoción de la conservación, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas costeros de carbono azul; ALIENTA a las Partes Contratantes que tengan ecosistemas costeros de carbono azul en sus territorios a recolectar y analizar datos (entre otros, procedentes de la ciencia ciudadana y los conocimientos indígenas), realizar una cartografía de estos ecosistemas y hacer pública esta información con miras a: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Actualizar sus inventarios de humedales costeros y las amenazas para estos;</li> <li>b. Determinar la gama de servicios de los ecosistemas que apoyan;</li> <li>c. Disponer de información para crear conciencia a escala internacional sobre la extensión mundial de estos ecosistemas, posiblemente a través de la Perspectiva mundial sobre los humedales;</li> <li>d. Calcular los flujos y las reservas de carbono de sus humedales costeros; y</li> <li>e. Actualizar sus inventarios nacionales de gases de efecto invernadero para reflejar mejor los datos sobre los humedales;</li> </ul>

Fuente: síntesis por Jacklyn Rivera – Programa Nacional de Humedales - SINAC al documento Ramsar COP13 Doc.18.15

## Anexo 9.2 . Lista de especies presentes en los ecosistemas de manglar en Costa Rica. Decreto N° 35803–MINAET

Nombre científico	Nombre común
<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo, colorado, gateador
<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle caballero, gigante
<i>Pelliciera rhizophorae</i>	Mangle piñuela, piña, piñuelo
<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle Blanco, mariquita
<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro, salado, palo de sal
<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle sal, negro, palo de sal
<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle Botoncillo, botón

Listado de flora por tipo de humedal de acuerdo con clasificación paisajística Humedales Esturianos y Bosques Inundados Salados (manglares)

Familia	Nombre científico	Nombre común	Condición*
Andiaceae	<i>Acrostichum aureum</i>	Negra forra	D
Andiaceae	<i>Acrostichum Danaefoüum</i>	Helecho de estero	D
Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Verdolaga de playa	A
Alismataceae	<i>Echinodorus sp</i>		D
Amaranthaceae	<i>Blutaparon vermiculare</i>		A
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	A
Anacardiaceae	<i>Mangle Botoncillo, botón</i>		
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i>	Jocote	A
Annonaceae	<i>Annona glabra</i>	Anonillo, guanabana silvestre	A
Apocynaceae	<i>Rhabdadenia biflora</i>		A
Araceae	<i>Montrichardia arborescens</i>	Mano de tigre	A

Arecaceae	<i>Bactris guinensis</i>	Uvita	D
Arecaceae	<i>Elaeis oleifera</i>	Palmiche, corozo	A
Arecaceae	<i>Mancaría saccifera</i>		
Arecaceae	<i>Raphia taedigera</i>	Yolillo	A
Arecaceae	<i>Tuberostylis rhizophorae</i>		D
Avicenniaceae	<i>Avicennia bicolor</i>	Mangle salado, salado	D
Avicenniaceae	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle salado, salado	D
Bignoniaceae	<i>Crescentia alata</i>	Jícaro	A
Bignoniaceae	<i>Amphitecna latifolia</i>	Cacao silvestre, jícaro, calabazo de playa	A
Bignoniaceae	<i>Tabebuia palustris</i>	Pie paloma	D
Bombacaceae	<i>Pochota fendleri</i>	Pochote	A
Bombacaceae	<i>Pachira aquatica</i>	Poponjoche	A
Bombacaceae	<i>Heliotropium fruticosum</i>	Alancracillo	A
Bromeliaceae	<i>Bromelia pinguin</i>	Piñuela	A
Capparidaceae	<i>Capparis flexuosa</i>		A
Capparidaceae	<i>Capparis odoratissima</i>		A
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Icaco	D
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle botoncillo	D
Combretaceae	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle mariquita	D
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Almendra de playa	A
Convolvulaceae	<i>Ipomoea pes-caprae</i>	Churristate	A
Cyperaceae	<i>Cyperus ligularis</i>	Junc	D
Cyperaceae	<i>Fimbristylis spadicea</i>	Pelo de chino	D
Cyperaceae	<i>Scirpus californicus</i>		D
Euphorbiaceae	<i>Hippomane mancinella</i>	Manzanillo de playa	A
Fabaceae - caesalpinoideae	<i>Caesalpinia bonduc</i>	Nacascolo	A

Fabaceae - caesalpinoideae	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Palo de brasil	A
Fabaceae - caesalpinoideae	<i>Mora oleifera</i>	Mora, Alcornoque	D
Fabaceae mimosoideae	<i>Vachellia alleni</i>	Cornizuelo	A
Fabaceae mimosoideae	<i>Vachellia cornigera</i>		
Fabaceae mimosoideae	<i>Entada polystachya</i>		D
Fabaceae mimosoideae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	A
Fabaceae mimosoideae	<i>Mimosa pigra</i>	Dormilona grande	A
Fabaceae mimosoideae	<i>Pithecellobium dulce</i>	Dulce michigüiste	A
Fabaceae mimosoideae	<i>Pithecellobium lanceolatus</i>		
Fabaceae mimosoideae	<i>Pithecellobium unguis-cati</i>		
Fabaceae mimosoideae	<i>Samanea saman</i>	Cenízaro, genízaro	A
Fabaceae mimosoideae	<i>Prosopis juliflora</i>	Mostrenco	A
Fabaceae papilionoideae	<i>Canavalia rosea</i>	Frijol de playa	D
Fabaceae papilionoideae	<i>Dalbergia brownei</i>		D
Fabaceae papilionoideae	<i>Machaerium lunatum</i>	Jarro caliente	A
Fabaceae papilionoideae	<i>Muelleria frutescens</i>	Arco, raton, guachipelín	A
Fabaceae papilionoideae	<i>Pterocarpus officinalis</i>	Sangrillo	A
Liliaceae	<i>Crinum erubescens</i>	Lirio de manglar	D
Liliaceae	<i>Hymenocallis litoral</i>	Lirio de playa	D
Liliaceae	<i>Hymenocallis Pedalis</i>		D
Lythraceae	<i>Crenea patentinervis</i>		A
Malvaceae	<i>Hibiscus pernambucensis</i>	Majagua	D
Malvaceae	<i>Pavonia paludicola</i>	Majagüita	A
Malvaceae	<i>Thespersia populnea</i>	Majagua	A
Meliaceae	<i>Carapa guianensis</i>	Cedro macho, caobilla	A

Myrsinaceae	<i>Ardisia revoluta</i>	Ratoncillo	A
Orchidaceae	<i>Brassavola nodosa</i>		A
Pelliceraceae	<i>Pelliciera rhizophorae</i>	Mangle piñuela	D
Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i>		A
Poaceae	<i>Jouvea straminea</i>	Cola de gallo	A
Poaceae	<i>Uniola pittieri</i>		D
Polygonaceae	<i>Cocoloba caracasana</i>	Papaturro blanco	D
Polygonaceae	<i>C.Uvifera</i>	Papaturro	D
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora harrisonii</i>	Mangle caballero	D
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle colorado, mangle caballero	D
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora racemosa</i>	Mangle colorado, mangle caballero	D
Rubiaceae	<i>Randia sp.</i>	Espino, mostrenco	A
Rubiaceae	<i>Rustia occidentalis</i>		A
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i>	Escobillo, mata pulgas	A
Smilacaceae	<i>Smilax velutina</i>	Zarsa	A
Sterculiaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo ternero	A
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	Tifa, enea, tule	D
Typhaceae	<i>T. iatífolia</i>	Tifa	D
Verbenaceae	<i>Clerodendrum pittieri</i>		A

\*Condición: A (Asociada); D (Dominante)

## Anexo 2

### Formularios protocolo manglares

